

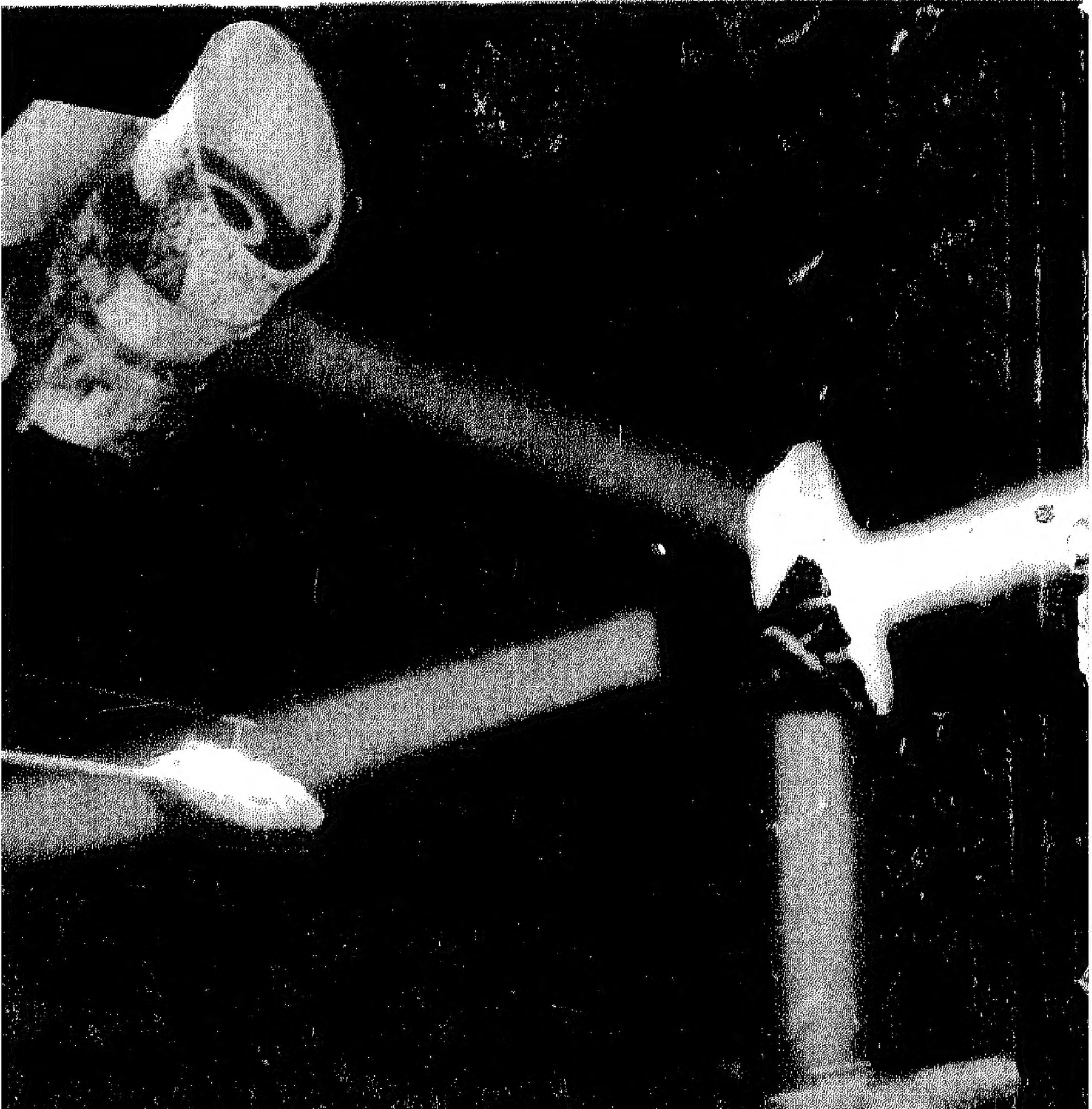
دكتور محمد زكي عويس

الأحرار

الأشعة الساهرة  
فاصل

أفلا

سلسلة ثقافية شهرية  
تصدر عن دار المعارف







# اقرأ

سلسلة ثقافية شهرية  
تصدر عن دار المعارف

---

[ ٦٠٨ ]

رئيس التحرير: **رجب البنا**

تصميم الغلاف : منال بدران

دکتور محمد زکی عویس

اللیزر

الأشعة الساعية  
فاضل



دار المعارف

إن الذين عنوا بإنشاء هذه السلسلة  
ونشرها ، لم يفكروا إلا فى شىء واحد ،  
هو نشر الثقافة من حيث هى ثقافة ،  
لا يريدون إلا أن يقرأ أبناء الشعوب  
العربية . وأن ينتفعوا ، وأن تدعوهم هذه  
القراءة إلى الاستزادة من الثقافة ،  
والطموح إلى حياة عقلية أرقى وأخصب  
من الحياة العقلية التى نعيشها .

**طه حسين**

# مقدمة

## نحو استراتيجية عربية لتطوير تكنولوجيا الليزر

يُعدُّ الليزر من أهم الإنجازات العلمية التي اكتشفت في النصف الثاني من القرن العشرين ، ويستخدم الليزر الآن كسلاح في التحرير والتعمير ، حيث أصبح حقيقة واقعة في العديد من التطبيقات لشتى المجالات : الطبية والزراعية والصناعية والعلوم العسكرية ، وفي مجال الاتصالات وتخزين المعلومات ، وأيضاً في مجال تطوير العلوم الأساسية في تخصص الفيزياء والبيولوجيا والطاقة إلى آخره .

لذلك نرى العلماء والخبراء في العالم المتقدم قد اتجهوا إلى تسخير المميزات الفريدة لهذه الأشعة الضوئية في معالجة القضايا الفنية للعديد من المشاكل التي لا يمكن التغلب عليها بدون الليزر ، خاصة في مجال الخدمات والإنتاج .

ومع التوسع في تطوير التكنولوجيا في المجالات التي سبق ذكرها ، فإن المنافسة العالمية تزداد للحصول على انتشار تكنولوجي أكبر ، وتشتد المنافسة في مجال التقنيات العالية بين الدول المتقدمة ، لأن الرهان ليس فقط على الناحية الاقتصادية ، ولكنه أيضاً سياسى



واستراتيجى ، ومن سيطر على مفاتيح التقنيات العالية ، فإنه سيطر بالقطع على أى مجال آخر .

وعلى ذلك تندفع الأمم فى عصر الثورة التكنولوجية ، لتحافظ على سرعة سيرها فى هذا السباق العالمى ، للحصول على التقنية العالية ، فنجد على سبيل المثال : أن الدول المتقدمة فى هذا المجال تدعم قطاع صناعة التكنولوجيا الداخلى بها بخطط عريضة مختلفة ، وبالتالى فإن ثورة التكنولوجيا أصبحت حقيقة ، وتتحرك بسرعة ، وتعرف بذلك كل بلاد العالم ، وعليه فإنها تحاول محومة التسلق على عربة التقنية قبل فوات الأوان .

والآن أصبح من الضرورى اللحاق بعجلة التطور التكنولوجى ، لخدمة برامج التنمية فى عالمنا العربى ، ومن المعروف أنه فى العقدين السابقين برزت بعض الجهود فى العديد من الدول العربية ، تهدف إلى اللحاق بركب الثورة التكنولوجية ، إلا أن سياسة التخبط العلمى أدت إلى اعتماد سياسة استيراد تلك التكنولوجيا دون الغوص فى أسرارها ، وذلك لملاءمة الحياة العصرية من ناحية ، ولضمان استمرار الإنتاج والخدمات من ناحية أخرى .

ونظراً إلى أن العالم اليوم ، هو عالم التكتلات الاقتصادية الكبيرة ، فأوان التكتل العربى أصبح حتمياً لتأسيس البنيان العلمى المتكامل لاستيعاب وتطوير التكنولوجيا الحديثة من واقع القدرة الذاتية العربية ، وطبقاً للاحتياجات الفعلية للمجتمع العربى ، مما يؤدى إلى إفراز كوادرات



فنية وعلمية ، تستطيع تحديد الأولويات الخاصة للاستخدام الأمثل لهذه التكنولوجيا ، خاصة في مجال الليزر والكمبيوتر والمواد المتجددة والهندسة الوارثية ، وصناعة الألياف البصرية والمواد فائقة التوصيل والخلايا الشمسية .

وبعد أن اتضح أن حجم الاستثمارات في استيراد معدات الليزر ، والأجهزة الأخرى التي تعتمد على الليزر في التشغيل في الدول العربية أصبح هائلا وانطلاقاً من الإيمان بالقدرات العلمية المتوافرة في الدول العربية ، التي يمكن أن تنطلق بثقة للتغلب على الأخطاء العلمية في « نقل التكنولوجيا » ، أو على الأصح اجتيازها ، لتحقيق أهداف التنمية للمجتمع العربي الذي يكفل الاكتفاء والرخاء ، خاصة في مجال الإنتاج والخدمات ، والذي يتعذر تحقيقه إذا اكتفينا بالوسائل التقليدية .

وإنني هنا أطرح الخطوط العامة لاستراتيجية تطوير تكنولوجيا الليزر في العالم العربي ، ونجاح هذه الاستراتيجية يعتمد أساساً على التخطيط السليم وتنفيذ ما نخططه بجدية وإصرار ، في ظل ضمانات قوية تكفل استقرار واستمرار الجهود العلمية لتحقيق هذا الغرض بعيداً عن التيارات السياسية ، وقصر تنفيذها على ذوى الخبرة والاختصاص ، ودعمها بصلاحيات تمكنها أن تتحرر في عملها من بعض ما هو قائم أو ما قد يقوم من قيود تعوق سيرتها ، أو تنحرف بمسارها .

وفي مجال الليزر ، دعنا في البداية نفرق بين فريقين من العلماء :

الفريق الأول : يهتم باستخدام تقنية الليزر فى دراساته الأكاديمية دون محاولة التعرض لقضاياها وحل مشاكلها ، خاصة فى مجال الصيانة والتطوير .

والفريق الآخر : هم العلماء الذين يطلق عليهم اسم « العلماء التطبيقيين » ، وهم الذين يهتمون أساساً بتطوير النظم الخاصة بالابتكارات الفنية للتكنولوجيا ، وهؤلاء العلماء يركزون على تقديم كل ما هو جديد فى عالم الليزر ، مثل اكتشاف المواد الجديدة المشعة لليزر ، وإدخالها فى مجال الاختبارات الفيزيائية التى تؤدى إلى تحديد الابتكارات وخصائص الأجهزة ، ومعرفة مدى الاستفادة منها فى التطبيقات المختلفة ، والتى تخدم الإنسانية بشكل مباشر ، والفريق الأخير يحتكر الجزء الأكبر من الاستثمارات المالية التى تستخدم فى صناعة التكنولوجيا وتداولها فى الأسواق ، بحيث تخضع جميع التعاملات الفنية مثل أعمال التشغيل والصيانة والإحلال ، والتى تحتاج غالباً إلى صناعات أخرى لإنتاج قطع الغيار اللازمة ، وتدريب الكوادر الفنية ، مما يزيد من معدل الاستثمار ، وأيضاً تحقيق أهداف التنمية العلمية التكنولوجية .

والدول المتقدمة تشجع تأسيس الشركات التى يمكنها جذب العلماء الأكاديميين والتطبيقيين للمساهمة فى تحديد الأولويات الخاصة باحتياجات السوق من معدات الليزر واختصاصاتها ، والتى يؤهلها



إلى إنشاء خطوط إنتاج لهذه المعدات ، يمكنها الدخول في المنافسة الدولية .

أما في الدول النامية ، فيصعب بها التنسيق بين احتياجات السوق من هذه التكنولوجيا ، والقدرات العلمية الوطنية المتواضعة ، التي تفاجأ بالسيطرة الفعلية للدول المتقدمة في هذا المجال ، وتنشأ لدى مخططي « نقل التكنولوجيا » قناعة بعدم جدوى الاستمرار في المتابعة والتنفيذ ، وهذا بالطبع يعيق برامج التنمية لديها ، ليس في مجال التكنولوجيا سائلة الذكر فحسب ، بل في تحسين مواصفات الإنتاج وتقديم الخدمات - ومن هنا يجب وضع استراتيجية على المستوى العربي خاصة في مجال الليزر ، يمكنها من حشد جهود العلماء بها للحاق بركب التقدم في هذا المجال الهام .

وتهدف استراتيجية تطوير تكنولوجيا الليزر في العالم العربي إلى إنشاء مركز عربي لعلوم وتكنولوجيا الليزر ، يكون هذا المركز مكملًا لجميع الكيانات الإقليمية التي تعمل في هذا المجال ، وفي مختلف القطاعات بها ، بحيث يمكن للمركز التنسيق فيما بينها لدفع عمليات التطوير طبقًا للخطط الموضوعة . وفكرة إنشاء هذا المركز العربي لليزر انبثقت من الدراسة التي تشرفتُ بأن تقدمتُ بها إلى المجلس الأعلى للجامعات في مصر عام ١٩٨٨ تحت عنوان : « دراسة تطبيقات تكنولوجيا الليزر في مصر مع تقييم اقتصاديات التشغيل والصيانة » .

وكان من أهم توصيات هذه الدراسة التركيز على ضرورة إنشاء



مركز قومي لتكنولوجيا الليزر في مصر ، بهدف تكوين كوادر علمية وفنية عالية التدريب ، تكون قادرة على التعامل مع تكنولوجيا الليزر وفي جميع التخصصات ، ويجب أن يتبع المركز العربى لليزر مكاتب فنية على دراية تامة بكافة الموضوعات المتعلقة بهذه التكنولوجيا يكون لها اتصالات خارجية بمصادر إنتاج معدات الليزر فى العالم ، على أن يقوم المركز المقترح بما يلى :

○ تقدير حجم العمالة الفنية المطلوبة ومقارنة ذلك بالمتاح حالياً ، حيث يمكن تحديد القدرات العربية الفنية التى تتعامل فى هذا المجال بهدف زيادة فعاليتها من خلال عمل برامج تدريبية مكثفة لجميع مكونات هذه التكنولوجيا .

○ حشد جهود الكوادر العلمية الأكاديمية فى العالم العربى ، وكل المهتمين بهذا المجال لتهيئة المناخ العلمى للتعاون فيما بينهم ، لخدمة أهداف التطوير فى هذا المجال .

○ وضع الضوابط لصيغ التعاقد مع الشركات الموردة لتكنولوجيا الليزر ، بحيث تتيح أفضل الفرص لاستيعابها وتطويرها واستحواذها ، وصولاً فى النهاية إلى تدعيم التكنولوجيا العربية والاعتماد عليها فى المقام الأول .

ومن أهداف الاستراتيجية أيضاً تدعيم القدرة المنظمة على استيعاب التطور الهائل والسريع فى مجال تكنولوجيا الليزر ، خاصة التوسع فى

فهم أسس التقنية الفنية لجميع الأجهزة والمعدات التي تعتمد على الليزر في تشغيلها ، ويتم ذلك بالاقتراحات الآتية :

١- عمل بنية أساسية سليمة .

٢ - توفير نماذج من هذه الأجهزة والمعدات في المركز العربي للليزر .

٣ - جمع كافة المعلومات الفنية عن هذه الأجهزة للوقوف على قدرات التشغيل والصيانة .

٤ - توفير قطع الغيار الأساسية عن طريق تشجيع خطوط الإنتاج العربية لتصنيعها .

٥ - تزويد كافة القطاعات المستفيدة من تكنولوجيا الليزر بالمعلومات الفنية عن أحدث التطورات لهذه الأجهزة .

٦ - إرساء سبل التعاون مع كافة الدول بغرض تدعيم مجال التطوير ، حتى نستطيع مواكبة التقدم الحضارى للأمم خاصة في القرن الحادى والعشرين .





## الفصل الأول

### أشعة الليزر وخصائصها المميزة

خلال هذا القرن ، شهد العالم تحقيق العديد من الظواهر الفيزيائية ، التي غيرت من نمط الحياة المعاصرة في شتى المجالات : الطبية والزراعية والصناعية ، وفي مجال العلوم الأساسية ( الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا ) ، والعلوم العسكرية والاتصالات ونظم المعلومات ، وأيضاً في مجال الطاقة وتلوث البيئة .

وقد أدى فهم الإنسان للتركيب الدقيق للذرة ومعرفة « النظام الميكانيكى الكمي » الذى يتحكم فى سلوكها ، وتوضيح حركة مكوناتها الأساسية ( من الكثرونات وبروتونات ) إلى تفجير الطاقة النووية والذرية ، وابتكار صناعة المفاعلات ، مما كان له الفضل الكبير فى تغيير الفكر الاستراتيجى فى النواحي السلمية والعسكرية على حد سواء ، وقد سميت هذه التقنية « الجيل الأول للتكنولوجيا » .

كما كان لاكتشاف الخصائص الفيزيائية لمواد اشباه الموصلات بالغ الأثر فى تطوير صناعة الالكترنيات وتأسيس الجيل الثانى للتكنولوجيا - أما الجيل الثالث للتكنولوجيا « فقد تأسس بعد توليد

أشعة الليزر المميزة ، نتيجة الربط بين الأشعة الكهرومغناطيسية والانتقالات الالكترونية بين مستويات الطاقة في ذرات المواد المختلفة .

وقد اهتمت الدول المتقدمة بتطوير هذه التقنيات والتي تعتبر حتى الآن من الأسرار العسكرية لها ، ولذلك تحذر نشر المعلومات وتبادل الخبرات في هذه المجالات الحيوية الهامة ، والتي تؤثر كثيرًا في حياة الشعوب وازدهارها .

على سبيل المثال ، وعندما أصبح الليزر ، حقيقة علمية في عام ١٩٦٠ م ، دأب الكتاب وصناع أفلام السينما على التركيز على الطاقة التدميرية ، التي قد تتميز بها الأشعة التي تصدر من جهاز الليزر ، ومنذ البداية سمي هذا الجهاز « بقاذف الأشعة » . فيما بعد ، وأطلق على هذه الأشعة اسم « أشعة الموت » ، مما جعل هذا القصور شائعًا لدى المواطن الذي لا يستطيع الحصول على الأسس العلمية المصاحبة عادة لهذه الاكتشافات والاختراعات .

وفي هذا الكتاب ، سوف نلقى الضوء على أشعة الليزر وخصائصها المميزة ، وذلك لتعظيم الاستفادة الممكنة منها وفي شتى المجالات التي تهتم المواطن العربي .

ما هو الليزر

بداية ، دعنا نتساءل عن الليزر ، ماذا يكون ؟ وكيف يستطيع المرء التفكير في عمل جهاز ليزر ؟ .

ببساطة ، الليزر هو آلة تنتج الطاقة الضوئية ، مثل تلك الأجهزة التي تنتج الطاقة الميكانيكية والكهربائية والحرارية وأيضا الكيميائية ، وتسمح هذه الآلة لمن يستخدمها بالتحكم فى شكل وكمية هذه الطاقة وتوجيهها إلى حيز محدد لأداء الغرض منها .

ولكى نفهم سوياً فكرة عمل الليزر ، دعنا نتذكر طبيعة الضوء ، فالضوء هو نوع من أنواع الأشعة الكهرومغناطيسية التي اكتشفها العالم « ماكسويل » خلال القرن الماضى ، ولكن بطول موجى معين ، هذه الأشعة هى انتقال للمجال الكهربى والمجال المغناطيسى المتولدين عن حركة شحنة محددة فى الفضاء . هذان المجالان يكونان متعامدين على مسار انتشار هذه الموجة المولدة .

ومن المعروف حالياً ، أن الأشعة الكهرومغناطيسية تسلك سلوكية الضوء ، وبالتالي فهى تحقق ظواهر الانعكاس والانكسار الموجى ، وأيضاً التداخل والاستقطاب إلى آخره . مع العلم بأن الطيف الكهرومغناطيسى يكون غير مرئى فيما عدا المدى الطيفى للضوء بين الطول الموجى ٤٠٠٠ - ٧٠٠٠ أنجستروم . ويصنف الطيف الكهرومغناطيسى طبقاً للطول الموجى للأشعة أو ترددها ، ابتداء من « أشعة جاما » التى مصدرها نواة الذرة ، ثم يتبعها الأشعة السينية « ومنشؤها اضطرابات فى التركيب الالكترونى للذرة ، ثم الموجات فوق البنفسجية ، فحدود الضوء المرئى والأشعة تحت الحمراء ، فالموجات



الميكرومترية وبعد ذلك تتبع موجات الراديو وموجات التيار الكهربائي المتردد ( انظر الشكل ١ ) .

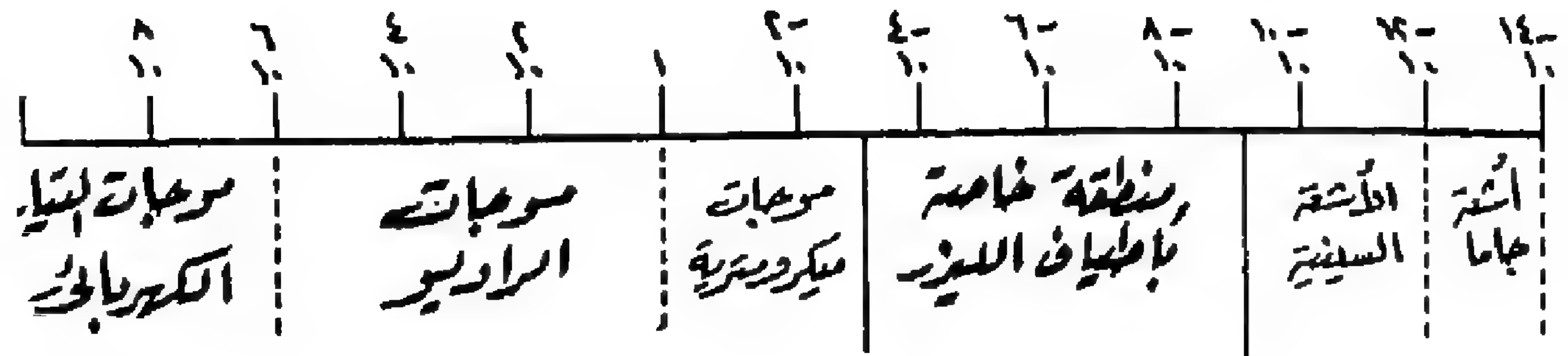
واستكمالاً لطبيعة الضوء ، فقد استطاع العالم أينشتين خلال هذا القرن أن يبرهن على أن انتقال الضوء لا يحتاج إلى وسط ، كما هو الحال في انتقال الموجات الصوتية . كما أنه وضع فكرة جديدة لتفسير السلوك الضوئي تبعاً للنظرية الموجية الجسيمية معاً . وقد نجح « أينشتين » في تفسير ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي ، الذي كان له بالغ الأثر في الربط بين الأشعة الكهرومغناطيسية والانتقالات الالكترونية بين مستويات الطاقة في الذرات المختلفة وقد أشار في دراسته حول هذه الظاهرة ، إلى امكان حدوث الانتقال الالكترونية في ذرة ما ، بثلاث طرق مختلفة هي :

١ - ضخ الالكترونات وهي في مستوى الاستقرار ( أى المستوى الأرضي ) بالذرة ، بطاقة كافية لحدوث امتصاص للطاقة ، وبحيث تنتقل الالكترونات إلى مستويات طاقة متهيجة .

٢ - الانبعاث التلقائي للأشعة : ويصحب ذلك انتقال الالكترون من مستويات الطاقة المتهيجة إلى المستويات المستقرة بالذرة وبطريقة تلقائية ، دون أى تدخل من مؤثر خارجي .

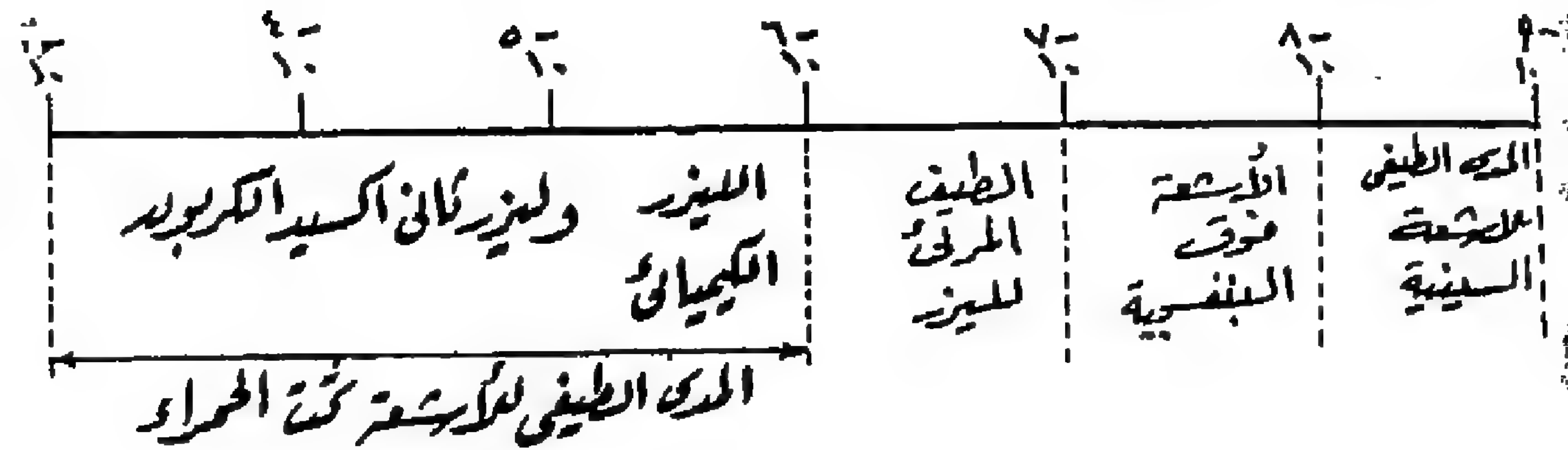
٣ - الانبعاث الحثي للأشعاع ؛ ويصحب ذلك ، انتقال الالكترونات من مستويات الطاقة المتهيجة إلى مستوى طاقة أقل في الذرة ، بعد حثها على الانتقال بواسطة أشعة ضوئية حثية .

## الطول الموجي (بالمتر) ←



( شكل ١ - أ ) يان يوضح الطيف الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية

## الطول الموجي (بالمتر) ←



( شكل ١ - ب ) يوضح الطيف الموجي لأشعة الليزر في المدى المرئي وغير المرئي

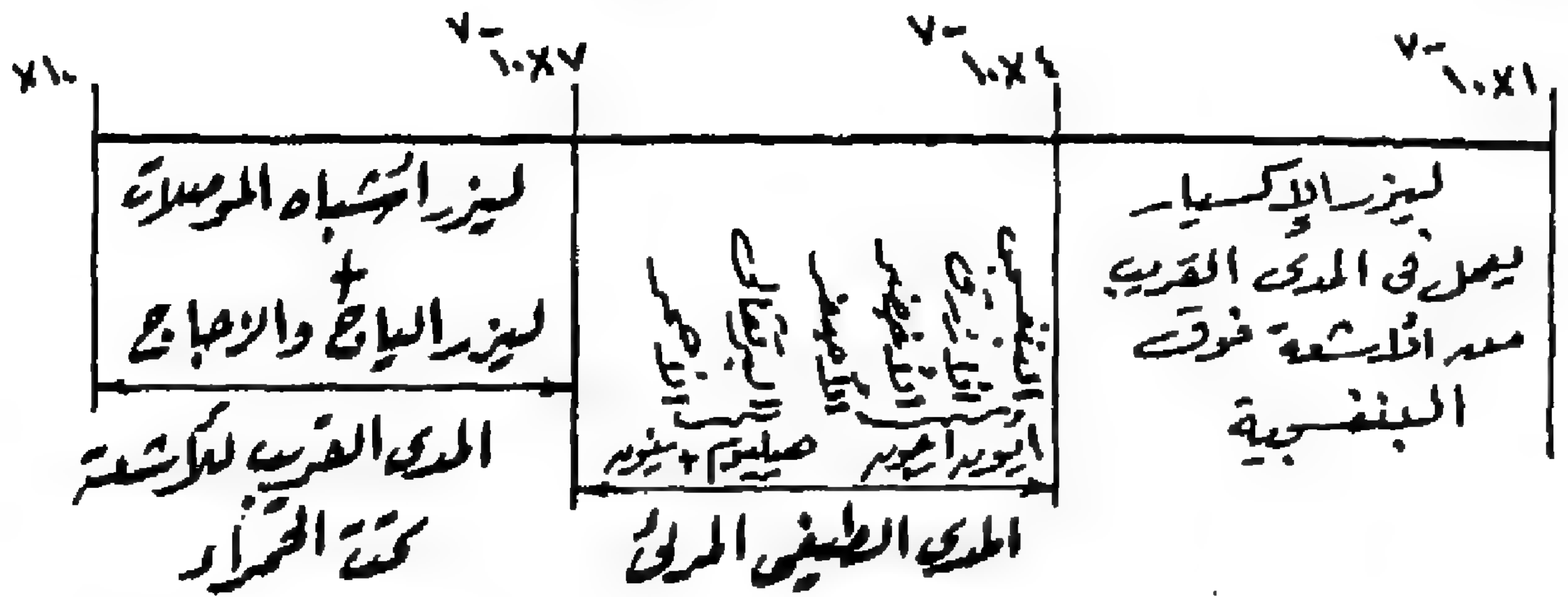
ففى عملية الانبعاث التلقائى ، تكون الطاقة الاشعاعية المنتجة مساوية لفرق الطاقة بين مستوى الطاقة المثيج ومستوى الطاقة الأرضى بالذرة . بينما فى عملية الانبعاث الحثى ، لابد أن تكون الطاقة الاشعاعية الحثية مساوية للفرق بين مستوى الطاقة المثيج الأعلى ومستوى الطاقة المثيج الأسفل . ( انظر الشكل ٢ لتوضيح طرق الانتقال ) .

والجدير بالذكر ، أنه فى تلك الفترة ، تمكن العلماء من التحقق عمليا من الطريقتين الأولى والثانية ، بينما لم يستطيعوا مشاهدة ظاهرة الانبعاث الحثى للاشعاع من الذرات أو الجزيئات المثيجة ، وذلك لأسباب عديدة ، نذكر منها ضعف شدة الكثافة للأشعة المنبعثة حثيا .

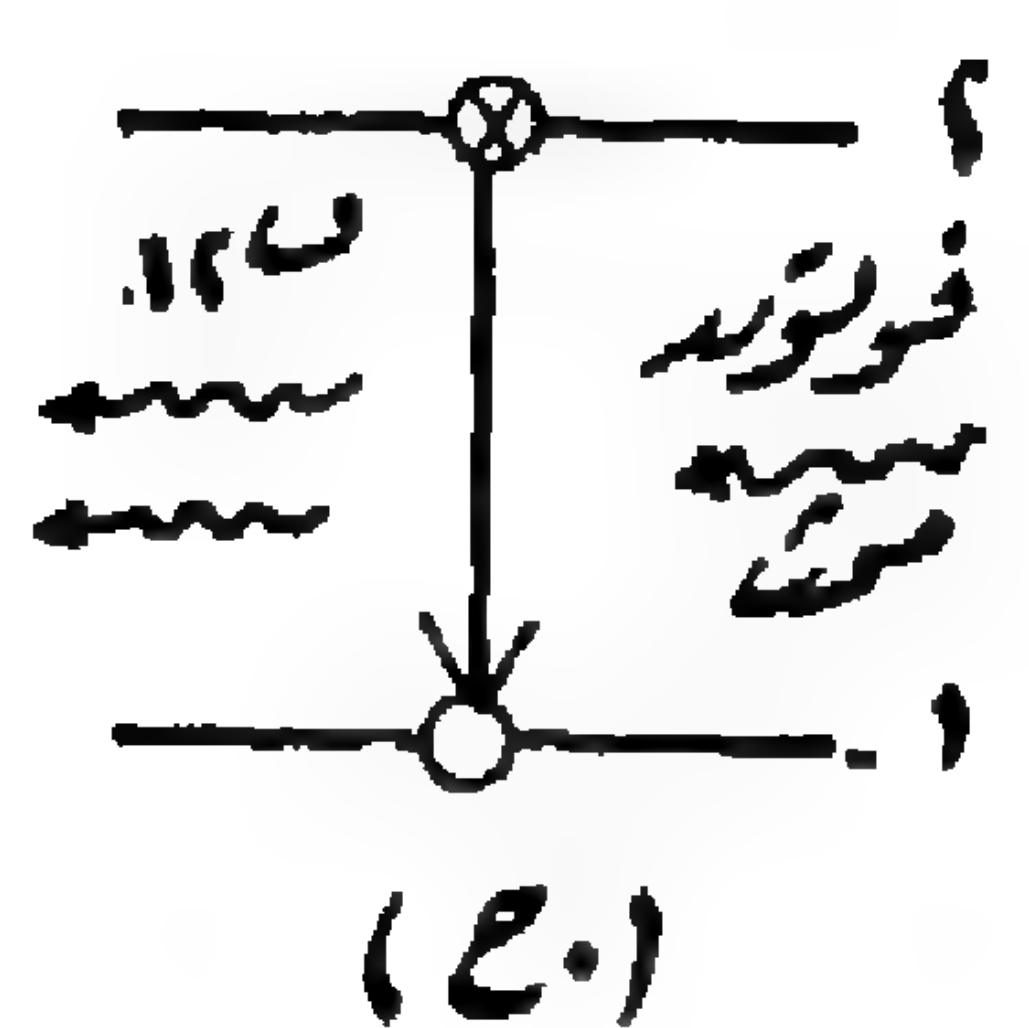
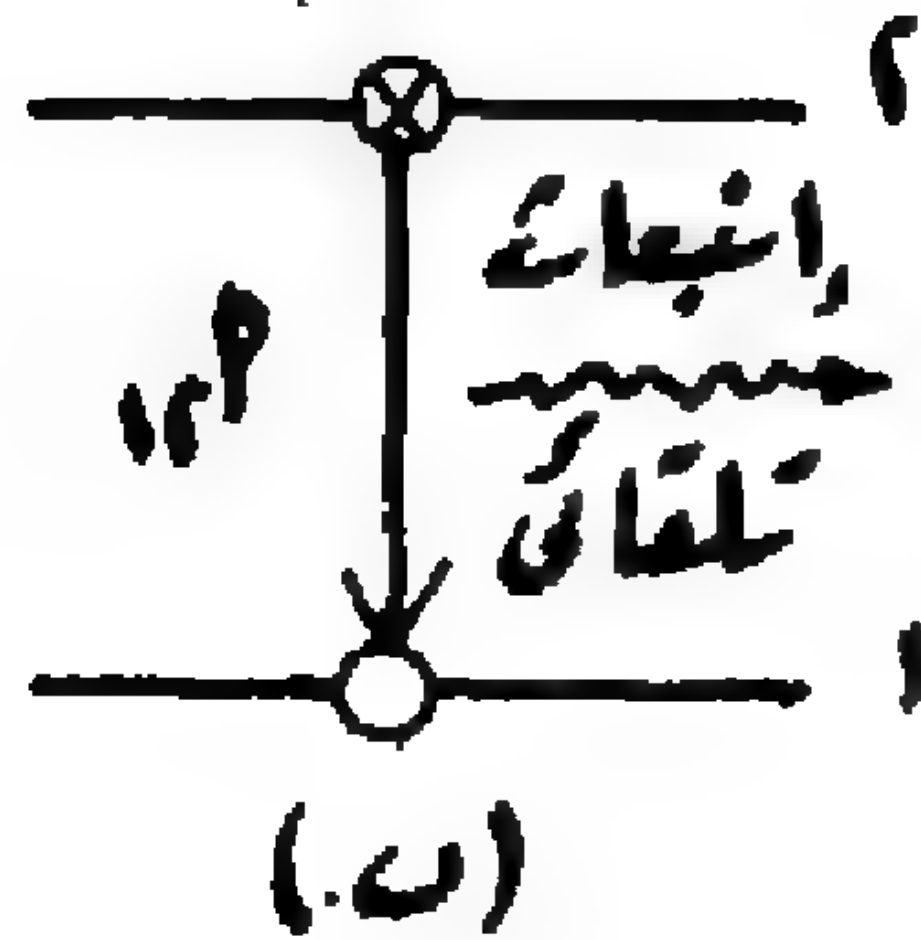
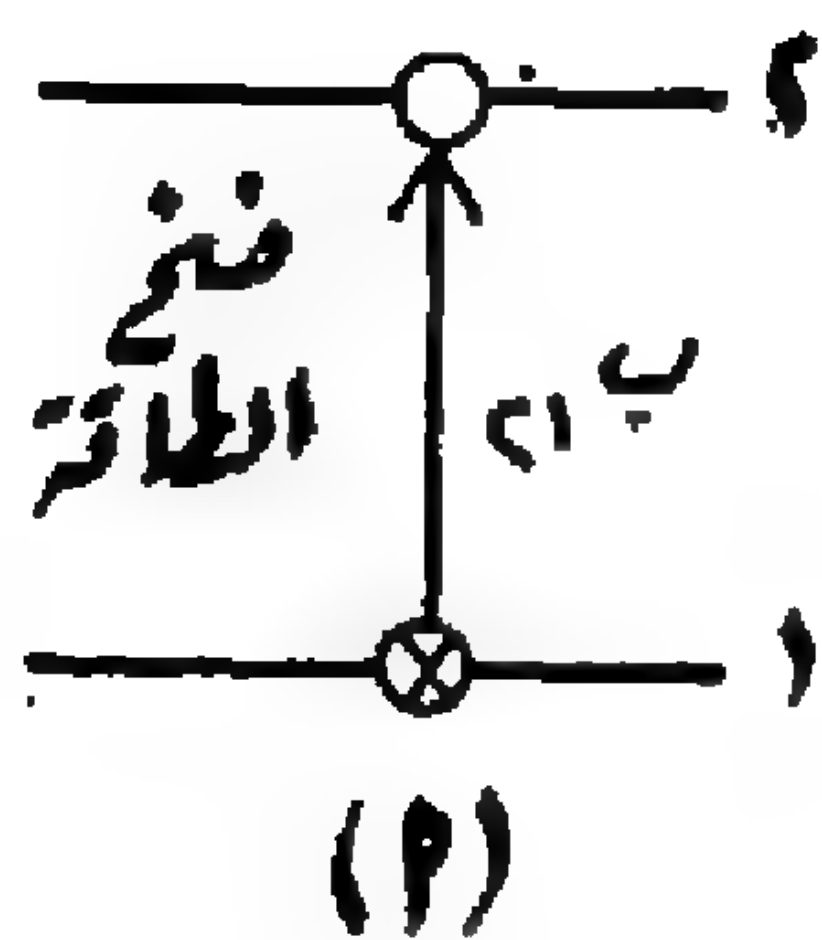
ومنذ ذلك الحين ، توالى البحوث فى هذا الشأن ، حتى تمكن العالمان الأمريكان « تاونس وشاولو » عام ١٩٥٨ م من توليد أشعة كهرومغناطيسية حثية من الانتقال الحثى للالكترونات بين مستويات الطاقة المثيجة لجزيئات « الأمونيا » ، وذلك فى المدى الطيفى للأشعة الميكرومترية الدقيقة . وقد وضع هذان العالمان الشرط الأساسى لتكبير ( أو تضخيم ) الأشعة المستحدثة من المادة ، وذلك إذا ما تحقق « الاسكان العكسى » للالكترونات فى مستويات الطاقة بالذرة ( أو الجزيئ ) . وبهذه الطريقة أمكن « اختراع جهاز أشعة الميزر » والميزر هو اختصار للمصطلح الإنجليزى "Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (MASER) .



الطول الموجي (بالمتر) ←



(شكل ١ - ج) يوضح أنواع الليزر والمدى الطيفي لها



(شكل ٢) يوضح الطرق المختلفة للانتقال الإلكتروني في ذرة ذى  
مستويين للطاقة ١ ، ٢

ومعنى هذا المصطلح باللغة العربية « تكبير الموجات الميكرومترية بواسطة الانبعاث الحثي للإشعاع » .

وكان هذا الاكتشاف بداية الهدير وعاصفة في العقول والمعامل ، خاصة بعد ما تمكن العالمان الأمريكيان « ميامان وجوردن » من الحصول على أشعة كهرومغناطيسية حثية مكبرة وفي المدى المرئي للضوء وذلك باستخدام مادة الياقوت الصناعى وأيضاً خليط من غازى الهيليوم والنيون . وقد سميت هذه الأشعة بالليزر وهو اختصار للمصطلح الإنجليزى "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (LASER) .

ويعنى « التكبير الضوئى بواسطة الانبعاث الحثي للإشعاع » وبعيدا عن التفسيرات الفيزيائية لهذا المصطلح ، فقد تم اكتشاف مواد عديدة فى حالاتها الأربعة : البلازمية والغازية والسائلية والصلبة ، تستخدم بكفاءة عالية فى أجهزة الليزر وتعمل فى المدى المرئى والغير مرئى وبطاقة ضوئية تخدم العديد من التطبيقات .

## مكونات جهاز الليزر

بعد هذا الاستعراض التاريخى لطبيعة الضوء وفكرة الانبعاث الحثي للأشعة الكهرومغناطيسية ، الذى أدى لنجاح توليد أشعة الليزر ، دعنا أيها القارئ نعاود السؤال عن مكونات جهاز الليزر : ما هى ؟ بدون

الدخول فى التعقيدات التكنولوجية ، فإن أى جهاز ليزر يتكون من أربع وحدات أساسية هى :

١ - وعاء الليزر : يحتوى هذا الوعاء على المادة الفعالة المستخدمة فى توليد الأشعة بين طرفى الوعاء يوجد مرآتان إحداها معامل انعكاسها للأشعة ١٠٠٪ ، والأخرى معامل انعكاسها ٩٠٪ وذلك لتوفير شروط الحصول على معامل كسب اشعاعى كبير .

٢ - وحدة الطاقة : وهى توفر الطاقة اللازمة لفتح المادة الفعالة فى وعاء الليزر .

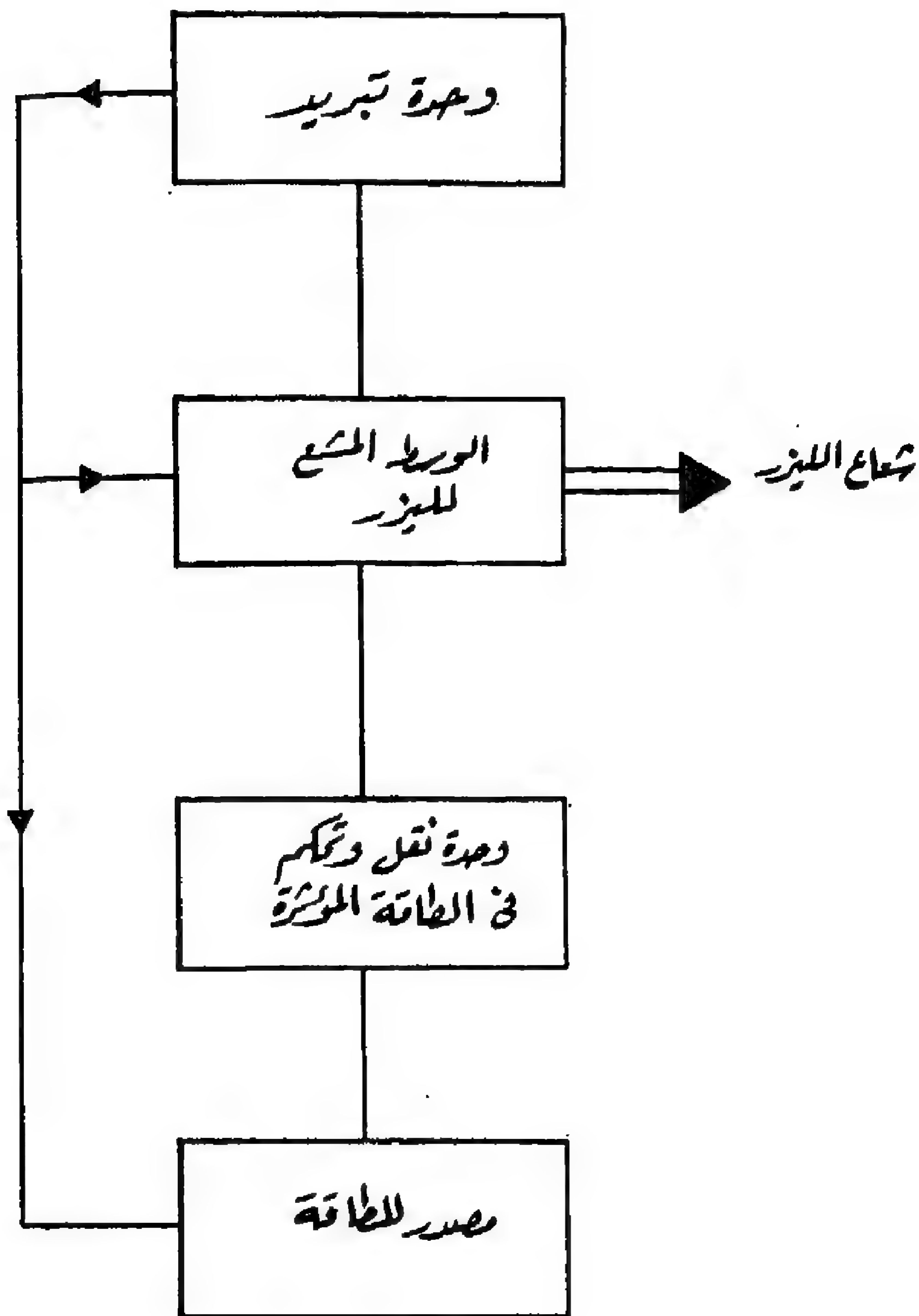
٣ - وحدة نقل الطاقة : وهى مسئولة عن نقل طاقة الضخ بطريقة مباشرة إلى المادة الفعالة .

٤ - وحدة التبريد : وهى لازمة لتبريد الجهاز من الحرارة المتولدة عند التشغيل .

( انظر الشكل ٣ ) لتوضيح مكونات جهاز الليزر الأساسية .

خصائص أشعة الليزر :

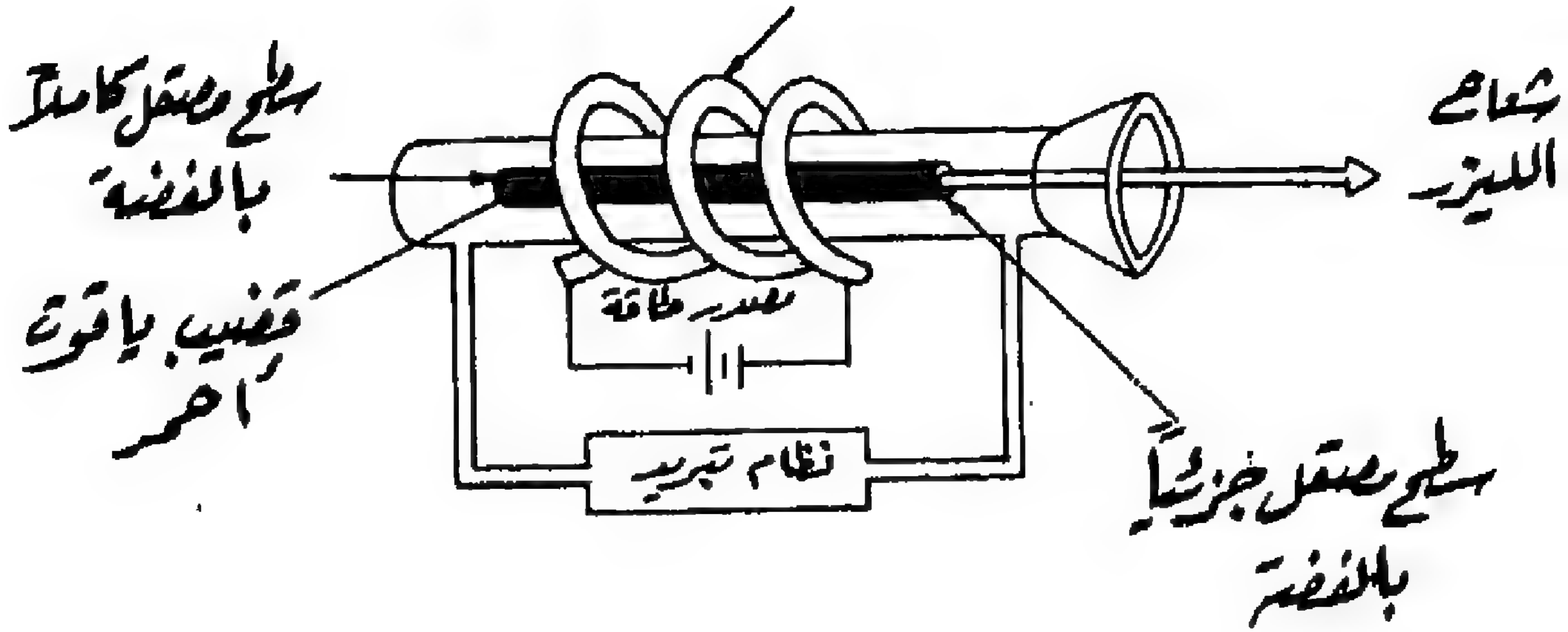
بعد أن تعرفنا على فكرة الليزر وماذا يكون ؟ ولأجل أن نشعر بأهمية الضوء المميز الصادر من أجهزة الليزر ، سوف نستعرض فيما يلى الخصائص المميزة لتلك الأشعة مقارنة بأشعة الضوء العادى المنبعث حراريا أو الصادرة من الشمس :



( شكل ٣ - أ ) مكونات جهاز الليزر



## مصباح وميضى



( شكل ٣ - ب ) يوضح أول جهاز يتبع أشعة الليزر من الياقوت الأحمر  
 باستخدام المصباح الوميضى من تصميم العالم الأمريكى « تيودر ميامان »

## ( أ ) الكثافة الضوئية أو شدة الاستضاءة :

الضوء الناتج من جهاز الليزر يكون مكثفا . فأشعة الليزر تصدر في حزم ضوئية ضيقة ، وبالتالي فهي تضيء حيزا صغيرا من مكان سقوطها ، وحيث إن الكثافة الضوئية هي مقدار الطاقة الضوئية لكل وحدة مساحة ، فنلاحظ أنه بالرغم من كون شعاع الليزر ذو طاقة ضعيفة ، إلا أن المساحة التي يسقط عليها تكون صغيرة جدًا ، وبالتالي تزداد الكثافة الضوئية . هذا بعكس الضوء التقليدي الذي تتفرق أشعته وتضيء مسافة كبيرة وتبديد الطاقة وتصبح كثافتها الضوئية ضعيفة .

## ( ب ) التوجيه الضوئي :

يمكن التحكم بدقة في توجيه أشعة الليزر لتسقط على الحيز المراد استخدامها فيه ، وذلك بواسطة بعض المركبات البصرية ( مثل العدسات والمرايا ) . هذا بعكس الأشعة الضوئية التقليدية التي تشتت ويسهل امتصاصها بالغازات المتواجدة في الجو ، وبالتالي لا تنتقل إلى مسافات بعيدة .

وقد تم توجيه شعاع الليزر إلى سطح القمر لقياس المسافة بينهما بدقة وذلك عام ١٩٦٢ . ولوحظ أن هذه الأشعة لم تتفرق إلا على بعد بضعة كيلو مترات من سطح القمر مع العلم بأن الشعاع قد قطع مسافة تقدر بـ ٤٠٠,٠٠٠ كيلو متر .

### (ج) أحادية الطول الموجى :

الضوء الناتج من جهاز الليزر يكون أحادى اللون ، أى أن الطول الموجى له محدد ، ويعتمد على العناصر الأساسية للمادة الفعالة المستخدمة فى الجهاز . بينما الضوء الأبيض الناتج من الشمس يتكون من ألوان الطيف المعروفة ( الأحمر والبرتقالى والأصفر والأخضر والأزرق والبنفسجى ) .

### ( د ) . التوافق الموجى :

تتميز أشعة الضوء الصادر من جهاز الليزر بأن موجاتها متطابقة بعضها لبعض ، ومتساوية فى السعة والطور الموجى ، هذا يعنى أن التداخل بين هذه الموجات يؤدى إلى زيادة الطاقة الموجية . هذا باختلاف أشعة الضوء التقليدية ، حيث موجاتها تكون مختلفة فى الطور ولكل منها طول موجى مختلف .

ويمكن تشبيه الليزر بالبندقية الآلية متعددة الطلقات ، بينما يشبه المصباح التقليدى بالمسدس وحيد الطلقة .

ويعتمد شكل خرج أشعة الليزر على تصميم جهاز الليزر وعلى طبيعة العمل المطلوب إنجازه . وقد يكون شكل الخرج كالاتى :

١ - موجات مستمرة Continuous Waves

٢ - نبضة ضوئية قصيرة منفردة Single Short Pulse

٣ - نبضة ضوئية مطولة long Pulse

٤ - رتل نبضى Burst Pulsing

فهذه الخصائص المميزة لأشعة الليزر ، جعلت خدمات وتطبيقات الليزر تزداد يوماً بعد يوم وفي شتى مجالات الحياة .



## الفصل الثاني

### أشعة الليزر ومعجزاتها العلمية

فى أوائل الستينات ، نجح علماء الفيزياء فى البلدان المتقدمة فى تفسير عمليات الانتقال الإلكتروني بين مستويات الطاقة فى الذرات ، وبواسطتها أمكن توليد أشعة ضوئية سميت « بأشعة الليزر » .

وفى هذا العصر أصبحت أشعة الليزر حقيقة واقعة للعديد من التطبيقات ولشتى المجالات : الطبية والصناعية والزراعية والعلوم العسكرية ، وفى مجال الاتصالات وتخزين المعلومات ، وأيضاً فى مجال تطوير العلوم الأساسية : فيزياء وكيمياء وبيولوجيا ، وفى علوم الطاقة إلى آخره .

لذلك نرى العلماء والخبراء فى العالم المتقدم ، اتجهوا إلى تسخير المميزات الفريدة لهذه الأشعة الضوئية ، فى معالجة القضايا الفنية للعديد من المشاكل التى لا يمكن التغلب عليها بدون الليزر ، خاصة فى مجال الخدمات والإنتاج .

وحتى نوضح للمواطن العربى الرؤية المستقبلية لتطوير أجهزة

الليزر المستخدمة في شتى المجالات ، بحيث أصبح من الضروري وضع استراتيجية عربية للحاق بركب التطور التكنولوجى فى هذا المجال المهم ، نتناول بشيء من التفصيل بعض تطبيقات الليزر فى المجالات : الصناعية والزراعية والطبية .

### تطبيقات أشعة الليزر فى الصناعة

اهتم العلماء ومهندسو الابتكارات التكنولوجية بالاستفادة من مميزات الليزر الفائقة فى مجال الصناعة ، وذلك بتطوير أنواع من الليزر ذات الطاقة الضوئية العالية ، مثل ليزر ثانى أكسيد الكربون ، وليزر النيودميوم الياجى والنيودميوم الزجاجى ، والتي يمكنها القيام بالعمليات الصناعية الآتية :

- الثقيب .. القطع واللحام .. المعالجة الحرارية .
- ضبط ماكينات التشغيل ومعايرتها .
- تصميم القياسات الميكانيكية .
- الصناعات الإلكترونية وتطبيقات الكمبيوتر .
- وضع علامات خاصة على البضائع والمنتجات .

وسوف نستعرض بالتفصيل هذه الحالات التى تستخدم فيها أشعة الليزر فى المجال الصناعى وذلك فيما يلى :

## الليزر : حفار للثقوب :

( أ ) حفر الثقوب فى بلورات الماس :

تعتبر بلورات الماس من اصعب المواد الصلبة التى تعامل معها الإنسان ، وهى من المواد الهامة التى تستخدم فى سحب وصقل الأسلاك عن طريق عمل ثقوب ملساء مختلفة الأحجام ، ولنا أن نتصور أن عمل ثقب واحد فى بلورة الماس ، قد يستغرق مدة يومين كاملين ، وذلك باستخدام الآلات التقليدية ، أما باستخدام أشعة الليزر ، فيستغرق هذا العمل دقائق قليلة ، وذلك عن طريق تركيز الطاقة الضوئية فى بؤرة يتحدد موقعها بالمكان المخصص للحفر .

( ب ) حفر الثقوب فى السيراميك :

تعتبر مادة السيراميك من المواد الهامة فى الصناعة ، حيث إنها تدخل فى العديد من الصناعات الإلكترونية ، نظراً لصلابتها وخفة وزنها وتحملها درجات حرارة عالية وأيضاً لكونها عازلة للكهرباء . وهناك صعوبة بالغة للتعامل مع هذه المواد عن طريق القطع وحفر الثقوب بمواصفات خاصة ، حيث إنها هشة وسريعة الكسر ، وقد أمكن استخدام أشعة الليزر فى حفر الثقوب فى السيراميك ، بل وأيضاً قطع ألواح السيراميك بواسطة الليزر فى خطوط مستقيمة دون مضاعفات ، وذلك بوضع جهاز تحكم آلى يقوم بضبط زوايا الثقيب والقطع أوتوماتيكياً .

## (ج) حفر الثقوب فى المواد الرخوية :

يعتبر البلاستيك والكاوتشوك من المواد الرخوية التى يصعب التعامل معها صناعيا ، خاصة فى عمليات التشقيب والقطع ، وبالرغم من وجود وسائل عديدة منها التخريم والقص ، إلا أن هذه الوسائل تصبح بدون فائدة ، إذا أردنا حفر ثقوب متناهية الصغر ، مما تحتاج إليه صناعة صناعات التحكم فى الطائرات والأقمار الصناعية ، وفى أجهزة قياس التلوث فى الهواء ، حيث يجب ألا يتعدى قطر الثقب ٠,١ ميليمتر ، وفى هذه الحالات ، قد يستخدم ليزر ثنائى أكسيد الكربون بقدرة ضوئية تتراوح بين ٢٠ إلى ٢٠٠ وات ، ويمكنها أن تنفذ خلال المواد الرخوية فى مدة تستغرق ٠,٠٠١ ثانية .

هذه الأشعة يمكنها إنتاج ٦٠٠ إلى ١٠٠٠ صمام فى الدقيقة الواحدة ، وفى مجال قطع المواد الرخوية مثل الكاوتشوك ، أمكن استخدام أشعة الليزر بدقة فائقة ، نظراً لصعوبة قطع هذه المواد بالطرق التقليدية ، حيث إنها مرنة وتنحنى تحت آلة القطع (السكين) مما يغير من الأبعاد المطلوبة للقطع .

ومن مميزات استخدام أشعة الليزر فى قطع المواد الرخوية أنها لا تتلامس مع المادة ، مما يجعل الشكل ثابتاً ، وأيضاً يمكن ضبط زوايا القطع عن طريق تحريك المكونات الضوئية فى جهاز الليزر ذاته ، وقد ثبت عملياً أن معامل امتصاص المواد المطاطية للأشعة الضوئية فى المدى



الغير المرئى للأشعة تحت الحمراء ، التى يتميز بها جهاز ليزر ثانى أكسيد الكربون يكون مرتفعاً ، مما يساعد على سرعة القطع .

### الليزر وعمليات القطع واللحام :

كل العمليات التى تم وصفها فى الحفر والتقطيع تتم بواسطة تبخير المواد باستخدام الطاقة المكثفة لليزر . أما عملية لحام المواد ، فلا تتطلب طاقة ضوئية عالية ، لأن أى جزءين من المادة ( عادة من المعادن ) يجب أن ينصهر أحدهما فى الآخر ليكونا مادة أخرى ، وفى هذه الحالة ، ليس من الضرورى تبخير المادة عند لحامها لأن ذلك يترك بعض فقائيع الهواء التى تجعل اللحام ضعيفا وهشاً يسهل كسره مرة أخرى .

ومن مميزات اللحام بواسطة الليزر بالمقارنة باستخدام النار أو القوس الكهربائى ، أنه يمكن إجراء اللحام فى الهواء أو فى أى وسط (خليط من الغازات مثلاً) كما يمكن لشعاع الليزر أن ينفذ من خلال الزجاج ويلحم الكاوتشوك لإحكام غلق أنابيب التفريغ بدون تدمير الجزء الخارجى .

ويوجد حالياً أجهزة ليزر يمكنها قطع المواد غير المعدنية مثل رقائق الخشب ( الأبلكاج ) والقماش وأنواع من البلاستيك . وتعمل هذه الأجهزة بنفس الطريقة المستخدمة فى حفر الثقوب ، حيث تتجمع أشعة الليزر بواسطة مركبات بصرية خاصة فى بؤرة ما على المكان المراد قطعه ، وتبخّر المادة بالتأثير الحرارى للطاقة الضوئية المكثفة .

وبتحريك مكان البؤرة يمكن إتمام عملية القطع بالمواصفات المطلوبة وبدقة فائقة . وعادة يستخدم تيار من غاز الأرجون أو النيون ( أحد الغازات الخاملة التى لا تتفاعل كيميائياً ) لإزالة الأتربة المتبخرة من على السطح حتى لا تسبب تشتيت الطاقة الضوئية ، أو أن تترسب على جهاز الليزر مما يسبب تعطيل مركباته البصرية .

أما فى حالة قطع المواد المعدنية ، فيلاحظ أن هذه المواد تكون عاكسة بشدة للأشعة الضوئية ، ولذلك فإنها تحتاج إلى قدرة ضوئية عالية ، مما يرفع من تكلفة الجهاز ويبدد الطاقة .. وقد أمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق توجيه تيار من الأوكسجين تحت ضغط محدد عند مكان القطع بعد تسخينه بواسطة اشعة الليزر ، حيث تتم أكسدة المعدن واحتراقه ومن ثم تتم عملية القطع . عندئذ فإن الليزر يستخدم كعامل مساعد فى قطع المواد المعدنية الصلبة .

وقد تم تعميم هذه الطريقة فى الصناعات العسكرية وصناعة السيارات وكل صناعة يصعب قطع المعادن المستخدمة فيها بالطرق التقليدية مثل معدن التيتانيوم . وعادة يستخدم ليزر ثانى أكسيد الكربون الذى يعمل فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء فى هذا النوع من عمليات القطع ، حيث أمكن قطع شرائح التيتانيوم بسمك ٦ ميليمتر ومسافة ٢٥٠ سم فى دقيقة واحدة . فى هذه الحالة تكون زوايا القطع دقيقة جداً لتقليل الفاقد من هذا المعدن الثمين بالمقارنة باستخدام المنشار الحديدى التقليدى .

وبناء على ما سبق ، فإنه يفضل استخدام أشعة الليزر في عمليات القطع واللحام على الطرق التقليدية نظرًا لجودة الإنتاج وكميته ومردوده الاقتصادى ، وذلك للميزات الآتية :

١ - إمكانية استعمال الليزر في عمليات لحام بعض المواد التى تتأثر خواصها بالحرارة ، مثل لحام التوصيلات الداخلية بالترانزستورات أو النبائط والمكونات الإلكترونية الأخرى .

٢ - عدم التأثير على الخواص المغناطيسية للمواد عند لحامها .

٣ - إمكانية تحقيق عملية اللحام فى مناطق ونقاط داخل الأجهزة التى لا يمكن الوصول إليها بواسطة الطرق الاعتيادية .

٤ - من الممكن إجراء عملية اللحام فى مختلف الظروف المناخية .

٥ - المواد التى لا يمكن لحامها بالطرق المألوفة ، يمكن لحامها بسهولة بواسطة أشعة الليزر وباعتمادية عالية .

٦ - عدم حدوث أى تشوه ملحوظ أو تقلصات فى الملحومات .

٧ - من الممكن إجراء اللحام على الأسلاك المعزولة دون الحاجة إلى تخضير « بقشط » العازل .

٨ - من الممكن مشاهدة ومراقبة عمليات اللحام بواسطة ربط المنظومة مع شبكة تليفزيون مغلقة للسيطرة على اللحام وجودته .



## تطبيقات أشعة الليزر فى الزراعة

من أهم تطبيقات أشعة الليزر فى المجال الزراعى ( وعن طريق الاستفادة من خاصية التوجيه الضوئى لليزر ) هو عمليات تسوية الأراضى الزراعية . والتسوية هى عملية ميكانيكية تجرى لضبط مناسب التربة وإعادة استواء الأراضى الزراعية تمهيداً لتغيير أسلوب الزراعة ، وتحويلها إلى شرائح وأحواض متسعة للمحاصيل الشتوية وخطوط طويلة للمحاصيل الصيفية . وهذه هى الوسيلة الأساسية لإمكانية استخدام الآلات الزراعية بعد ذلك بدءاً من البدّارات وانتهاء بالحصادات . ومن مزايا التسوية هو تقليل النسبة المفقودة من الأراضى فى المراوى ، لتصبح أرضاً مزروعة بالمحور وبالتالي تزداد المساحة الأفقية والتى لا تقل عن نسبة ١٥٪ من إجمالى المساحة . وأيضاً يمكن ترشيد استهلاك المياه المستخدمة فى الري عن طريق رفع كفاءة الري وتوزيع المياه بطريقة متماثلة تقلل الفاقد منها ، والتى قد يزيد بها المزارع لضمان وصول المياه إلى المناطق العالية من الأرض .

وتساعد عملية التسوية استخدام الآلات الزراعية بكفاءة حسماً لمشكلة عدم توافر العمالة الزراعية .

ويعتبر استخدام أسلوب الزراعة الصحيح بعد التسوية كضمانة لها ، تطيل من عمر التسوية ، ويساعد المزارع على زيادة المحاصيل فى الأراضى الزراعية ، أكثر من محصولين فى الموسم الزراعى الواحد .

وتستخدم حالياً أحدث النظريات والأجهزة العلمية التى تعتمد بالفعل على أجهزة الليزر فى التسوية ، حيث تحقق دقة عالية وسرعة فائقة فى الأداء ونخفاض للوقت وتسوية مساحة أكبر . ويتم ذلك على الوجه التالى :

### أولاً - عمليات الرفع المساحى :

تجرى عملية الرفع المساحى وتحديد الميزانية الشبكية للأراضى الزراعية بواسطة أجهزة خاصة تتكون من وحدتين منفصلتين ، وحدة الإرسال ، وبها جهاز ليزر عادة يكون ليزر غازى ، وسطه المشع لليزر مكون من خليط من غازى الهيليوم والنيون ، هذا الجهاز هو أبسط أنواع الليزرات ، ويعمل فى المدى الطيفى للضوء الأحمر عند الطول الموجى ٦٣٢٨ أنجستروم ، ويوجد فى هذه الوحدة بعض المركبات البصرية ( مثل المرايا والعدسات والمنشورات الزجاجية ) المستخدمة فى عمليات ضبط التوجيه الضوئى للأشعة ، بحيث تكون فى مستوى أفقى .

وتوضع وحدة الإرسال فى منتصف المساحة المراد رفعها مساحياً ، حيث يرسل جهاز الليزر أشعة ضوئية تغطى دائرة نصف قطرها ٣٠٠ متر ( أى مساحة قدرها ٧٠ فدان ) .

والوحدة الأخرى هى جهاز الاستقبال ، ويتكون من كاشف ضوئى ( عبارة عن خلية كهربائية - ضوئية أو كهروضوئية ) بواسطتها

يمكن تحويل النبضات الضوئية إلى إشارات كهربائية ، هذا الكاشف مثبت على قامة تتحرك أتوماتيكيا وتنزلق على شريط مدرج بالسنتيمترات لنقرأ قيمة مطلقة عن كل نقطة . وبإرجاع النقط المأخوذة بهذه القامة إلى نقطة المرجع المحددة بمنسوب ارتفاع الأرض ، يتم رسم خريطة للأرض موضحًا بها الارتفاعات والانخفاضات الموجودة بها وحساب المنسوب المتوسط المطلوب تسوية الأرض عليه .

### ثانيًا : أجهزة التسوية :

أجهزة التسوية لها نفس خواص الأجهزة المستخدمة في أغراض الرفع المساحي ، حيث يوضع جهاز الإرسال في منتصف الأرض ، ويرسل الجهاز أشعة الليزر في مستوى أفقى ثابت يرتفع عن الأرض حوالى أربعة أمتار ، أما جهاز الاستقبال فهو مركب على القصابية ذات المكبس الهيدروليكي ، وبعد استقبال النبضة الضوئية من جهاز الليزر يمكن ترجمتها إلى شفرة إلكترونية بواسطة الكاشف الضوئى وترسل هذه الشفرة إلى ما يسمى بصندوق التحكم ( أو العقل المفكر للعملية ) هذا الصندوق يكون مثبتًا بجوار مقعد سائق الجرار الزراعى .

فى بداية عملية التسوية ، يتم ضبط جهاز التحكم الإلكتروني على متوسط المنسوب المراد تسوية الأرض عليه ، حيث يحتفظ الجهاز بهذا المنسوب فى ذاكرة خاصة ، ويقوم بعد ذلك بمقارنة هذه القراءة بالقراءات الواردة إليه من وحدة الاستقبال المثبتة على القصابية ، وبناء

على ذلك ، تصدر إشارات إلى المحابس الكهربائية التى تتحكم فى ضغط الزيت الهيدروليكي الداخل والخارج من المكبس ، بهدف تعلية أو خفض « سن القصابية » ل تتم عملية القطع والملى بصورة تلقائية محسوبة دون تدخل العامل البشرى مطلقاً .

وبناء على ذلك ، فإن عملية التسوية باستخدام أشعة الليزر توفر الدقة والسرعة فى إمكانية إجراء التسوية فى مساحات واسعة .

## تطبيقات أشعة الليزر فى الطب

لقد ساهم الليزر فى مجال تقدم الطب كثيراً ، حيث دخل محاور مختلفة نذكر منها ما يلى :

### أولاً - الليزر الجراحى :

كانت فكرة ليزر الجراحة ، أحد الأهداف المهمة ، خاصة فى مجال العمليات الدقيقة ، والتى لا يمكن إجراؤها بالمشروط الطبى التقليدى ، ومن مميزات استخدام أشعة الليزر ، أن المريض لا ينزف تقريباً أى دم ، وذلك بخلاف العمليات الجراحية التقليدية ، ويرجع ذلك إلى الطريقة التى يتفاعل بها شعاع الليزر مع الأنسجة ، ويمكن لهذا الشعاع كى بعض الأوعية الدموية فى مكان العملية ، ويتوقف نزيف الدم ، ويحتاج إلى هذا النوع من الجراحة المرضى المصابون بمرض « الهيموفيليا » أو عدم تجلط الدم ، وفى حالة تهتك الأوعية الدموية .



وأكثر أنواع الليزر الشائعة والمستخدمة فى الجراحة اليوم هو ليزر ثانى أكسيد الكربون والذي يعمل فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء ، ومن خصائص هذه الأشعة فى هذا الجهاز أنها تكون فى المدى الطيفى المستمر وأن معامل امتصاصها بواسطة الماء المتواجد فى الخلايا الحية بالأنسجة مرتفع جداً .

بالإضافة إلى شدة الاستضاءة العالية والتي يمكن بواسطتها تبخير الخلايا الحية عند البؤرة التى يتجمع عندها الأشعة . ويستخدم الليزر فى الجراحة بطريقتين :

الأولى : فى عمليات القطع العميقة .

الثانية : فى عمليات إزالة الأنسجة السطحية .

ثانياً : الليزر وعلاج سرطان الرحم :

نجنح الأطباء فى استخدام الليزر فى علاج سرطان الرحم عند النساء ، خاصة أن أنسجة عنق الرحم أو المهبل فى النساء عرضة لكثير من الأمراض خاصة السرطان ، ولسوء الحظ تكون العمليات الجراحية التقليدية بالغة الصعوبة بالنسبة للطبيب الجراح ، نظراً لعدم توفر إمكانية الوصول إلى هذه المناطق الحساسة ، والتي تحتوى على أوعية دموية عديدة ، والذي يجعل تلك الجراحات فى منتهى الخطورة ، هو أن الخلايا السرطانية تنتشر على السطح بأكمله ، بدلاً من وجودها فى مكان ما أو ورم محدود يمكن للجراح استئصاله .

وهذه العمليات الجراحية يمكن لأشعة الليزر أن تقوم به بكفاءة عالية ، فالذى يجعل العملية الجراحية بالأدوات الطبية التقليدية خطيرة ، هو أنه يجب على الجراح أن يقطع وينظف كل المنطقة أسفل الأنسجة المراد استئصالها ، وهذا بالطبع يخلق جرحاً عميقاً مصحوباً بنزيف حاد غالباً ما يؤدي إلى الوفاة ، ولذا أصبح الليزر أمل كثير من المرضى ، وعلى الجراح فقط أن يتبع هذه الأشعة بصفة مستمرة وبدرجة كافية حتى تخترق الأنسجة المريضة ، وبالطبع يمكن لشعاع الليزر أن يصل إلى الأماكن الداخلية من المهبل ، والتي يصعب على الجراح أن يصل إليها بالمشرط التقليدى ، وفى كثير من الأحيان يمكن إجراء الجراحة بدون عمليات فتح جراحية ، حيث تقوم أشعة الليزر بكى الأوعية الدموية لالتحامها وحتى يمنع النزيف الحاد ، بل وتقوم تلك الأشعة أيضاً بعمل تخدير للأعصاب حتى تقلل من الآلام ، ولذلك قد يستخدم الليزر كثيراً فى علاج النساء الحوامل اللائى لا يتحملن عمليات التخدير .

### ثالثاً - الليزر وعلاج الأمراض الجلدية :

يستخدم الليزر حالياً وبنجاح فى علاج البقع الجلدية الحمراء وعلامات الوحم بالولادة ، والتي قد تظهر فى أماكن واضحة تعيب الشكل نسبياً مثل الرقبة والوجه واليد ، وهذه البقع الحمراء تحتوى على شبكة شاذة من الأوعية الدموية ، ويستخدم الليزر فى كى هذه الأوعية

الدموية وتقليل درجة احمرارها عن طريق غلق هذه الأوعية ، ويستخدم الليزر أيضاً فى إزالة علامات الوشم ، حيث يمكنها تدمير جزئيات الصبغة المميزة لهذا الوشم .

#### رابعاً - الليزر وعلاج الأعصاب :

يستخدم الأطباء الليزر فى علاج بعض أمراض الأعصاب ، وذلك عن طريق الوخز بالليزر بدلا من استخدام الطريقة الصينية التقليدية وهى « الوخز بالإبر » . والعلاج بالوخز بالإضافة لعلاج الأعصاب يستخدم فى حالات مرضية كثيرة ، منها النزلات الشعبية المزمنة ، وتصحيح موضع الجنين قبل الولادة .

والوخز بالليزر الآن أصبح شائعاً ، لأنه لا يسبب تلك الآلام التى تسببها الإبر ، بالإضافة إلى أنه صحى وأسرع فى الاستخدام ، وهو يتناسب مع الأطفال وكبار السن .

#### خامساً - الليزر وعلاج الأذن والحنجرة :

عادة المرضى الذين يصابون بسرطان الحنجرة ، يضطر الجراح إلى استئصال الحبال الصوتية ، ومن ثم يفقدون المقدرة على الكلام ، لأن الحنجرة والأذن من الأماكن الحساسة التى يصعب للجراح أن يصل إلى أجزائها الداخلية بمشرطه الطبى التقليدى . فمن السهل أثناء الجراحة التقليدية بالحنجرة أن يتم جرح الصندوق الصوتى ، وأى عصب فى هذا الصندوق قد يفقد القدرة على الكلام بصفة مستمرة .

ويستخدم الليزر حالياً فى إزالة الخلايا المريضة بالسرطان ، من خلال تجميع الطاقة الضوئية فى بؤرة ضوئية لا يتعدى قطرها ميليمترا واحدا ، وذلك دون حدوث أى أضرار بالأجزاء الأخرى فى الحنجرة ، وفى هذه العمليات يستطيع المريض التحدث بوضوح أكثر من حدود الهمس التى قد ينطق بها بعد إزالة الأجزاء الداخلية فى الحنجرة فى الجراحة التقليدية .

كما يستخدم الليزر فى علاج القنوات الدقيقة بالجسم ، وأهمها الأذن ، فكثير من المرضى لا يستطيعون السمع نتيجة بعض العيوب فى تركيب عظام الأذن الداخلية ، حيث أن هذه العظام مركبة بدقة وتعمل على نقل الترددات الصوتية إلى داخل الأذن . فأى خلل فى هذا التركيب قد يجعل إحدى هذه العظام تتصلب فى مكانها ، مما يجعل الأذن غير قادرة على السمع ، ولعلاج هذه الحالات بالطرق التقليدية ، يلجأ الجراح إلى استخدام « أزميل » حاد حتى يستطيع رفع هذه العظام المتصلبة ، وقد تودى هذه الطريقة ذاتها إلى عطب دائم لعظام الأذن ، وتفقد المريض السمع بصفة مستمرة . بالإضافة لما تسببه من عدم توازن المريض وترنحه لفترة طويلة .

ويوجد الآن أنواع خاصة من الليزر ، يمكنها تجميع أشعتها فى بؤرة صغيرة داخل الأذن ، وبواسطة الطاقة الضوئية المكثفة يمكن تبخير جزء من العظام المتصلبة ، وبمتهى الحرص يستخدم الجراح « ملقاطا » دقيقا لرفع باقى أجزاء العظام .



## سادسًا - الليزر وعلاج القرحة المعدية :

حاليًا ، يستطيع المرضى الذين يعانون من نزيف دموى حاد بالمعدة أو الأمعاء ، الاستفادة من الاختراعات التكنولوجية الحديثة ، خاصة في مجال المناظير الطبية وأشعة الليزر .

في الجراحة التقليدية ، عادة تستخدم المناظير الطبية في تشخيص أماكن القرحة ، والمشكلة هنا أن المرضى الذين يعانون من نزيف دموى حاد ، لا يستطيعون في حالات كثيرة تحمل الجراحة الكبيرة والتي تؤدي في حالات كثيرة إلى الوفاة .

والطريقة الجديدة في علاج القرحة هو استخدام المناظير الطبية ليس فقط كأداة تشخيص ، بل كأداة جراحية أيضًا . فيمكن للطبيب الجراح استخدام الضوء العادي في تحديد مكان القرحة داخل معدة المريض من خلال إحدى الألياف البصرية الملحقة بالمنظار ، بعد ذلك يسلط بدلا من الضوء العادي شعاع الليزر الذي يسقط على مكان القرحة بالضبط ويسبب تجلط الدم عن طريق الكي المباشر ، الذي يترتب عليه وقف نزيف الدم .

## سابعًا - الليزر وتفتيت الحصوات في الكلى والحالب :

الحصوات هي جسم غريب في المسالك البولية ، ووجودها يسبب مضاعفات للجهاز البولي ونهايتها تكون الفشل الكلوى . والإجراء المعروف لدى الأطباء هو عمل جراحة على المسالك البولية لاستخراج

هذه الحصوات ، وكان الشغل الشاغل للجراحين هو كيفية الوصول إلى طريقة لاستخراج الحصوة بطريقة شبه مأمونة ، وعندما اخترع العلماء المناظير الطبية ، أمكن استخدامها فى هذه الجراحة ، إلا أن المنظار الطبى يسبب مشاكل جراحية كثيرة ، لأنه يتكون أساساً من معدن صلب . ثم توصل العلماء إلى استخدام الموجات التصادمية التى تفتت حصوة الكلى بدون إجراء جراحة ، إلا أن المشكلة تكمن فى بعض حصوات الحالب التى تستخرج حتى الآن عن طريق الجراحة التقليدية ، وفى الآونة الأخيرة اخترع العلماء منظارا طبيا مرنا ليس له مضاعفات ، ويمكن من خلال الألياف البصرية به إدخال أشعة الليزر والوصول إلى الحصوة وتفتيتها بدون حدوث أى ضرر بالأنسجة الرخوية .

وباستخدام أنواع خاصة من الليزر أمكن التوصل إلى وسيلة فعالة تكاد تكون بدون مضاعفات ، لتفتيت واستخراج حصوة الحالب وفى أقل وقت ممكن ، ويستخدم الليزر أيضاً فى علاج أورام المثانة ، وذلك عن طريق الكى الضوئى .

### ثامناً - الليزر وتشخيص السرطان :

ويستخدم الليزر أيضاً فى اكتشاف حالات السرطان المبكرة ، ويتم ذلك بأخذ عينه من الأنسجة ووضعها فى محلول يحتوى على الصبغة العضوية ، هذه الصبغة من خصائصها أنها تشع وميضاً ضوئياً عندما

تسقط عليها أشعة الليزر المناسبة ، ومن المعروف أن الخلايا العادية في الأنسجة لا تحتوى على نفس النسبة من البروتينات وجزيئات الـ DNA التى تنتجها الخلايا السرطانية ، والتى تمتص الصبغة العضوية بكمية أكبر . وهذا يعنى أنه فى حالة وجود خلايا سرطانية ، فإنها تمتص كمية كبيرة من محلول الصبغة العضوية ، وبالتالى يكون لها القدرة على امتصاص الأشعة الضوئية من الليزر بمعدل أكبر من تلك الصبغة التى تمتصها الخلايا العادية ، وقد ثبت عمليا أن هذه الطريقة فى التشخيص أفضل كثيرا من إعطاء المريض كبسولات خاصة تحتوى على هذه الصبغة العضوية ، حيث أن هذه الصبغة تسبب توليد خلايا سرطانية بالجسم .

### تاسعا - الليزر لجراحة وعلاج أمراض العين :

نجح الأطباء فى استخدام العديد من أنواع الليزر ( أهمها ) ليزر أيون الأرجون وليزر الأكسيمر ) بالإضافة إلى ليزر النيوديموم الجرافيتى فى جراحة العيون ، ومن الأمراض التى تحتاج إلى استخدام الليزر هى :

- (١) علاج المياه الزرقا أو « الجلوكوما » .
- (٢) علاج بعض حالات ارتشاح المقلة .
- (٣) حالات التحلل الشبكي السكرى .
- (٤) حالات الضمور بمركز الإبصار بسبب الشيخوخة .

(٥) تمزقات وثقوب الشبكية .

(٦) الثقب القزحي .

(٧) فتح الحفظة الخلفية أو الأمامية المعتمدة .

(٨) إجراء عمليات المياه البيضاء ( الكتاركتا ) .

(٩) قطع بعض الأنسجة والتلفيات بالجسم الزجاجي وعلى سطح الشبكية .

كما يستخدم الليزر في علاج أمراض القرنية مثل إزالة الأورام والترقيع القرني وعلاج عيوب انكسار القرنية .

وهكذا يتبين لنا أهمية وفعالية أجهزة الليزر بأنواعها المختلفة واستخداماتها المتعددة ، خاصة في مجال الخدمات الطبية وفي مجال الإنتاج الصناعي والزراعي .





## الفصل الثالث

### تطبيقات أشعة الليزر فى مجال الطاقة

دأب الإنسان منذ القدم على أن يعد حاجاته الأساسية الثلاث وهى : الغذاء والكساء والمأوى ، أما اليوم ، فمن الأفضل أن يسميها من جديد ، حيث إن هذه الحاجات الثلاث أصبحت : الطاقة والمواد المتجددة والمعلومات ، وفى هذا الفصل سوف نبدأ بموضوع الطاقة .

فطبقاً للقانون الثانى للديناميكا الحرارية ، فإن أنواع الطاقة الأعلى تتحول إلى الأنواع الأدنى ، وتبدأ كل أشكال الطاقة التى يستخدمها الإنسان بالطاقة النووية المتولدة فى النجوم . وعلى سبيل المثال ، ففى قلب شمسنا تتحول الطاقة النووية إلى طاقة كهربائية مغناطيسية بما فى ذلك الضوء الذى يغمر الأرض ، وحين أشعل الإنسان القديم ناره ، بحرق خشب الأشجار ، فإنه فى الحقيقة كان يستخدم طاقة الشمس التى خزنت فى مركبات الكربون .

وطاقة الرياح وطاقة الماء الساقط ، نوعان من طاقة الشمس المتحولة ، كذلك فإن الوقود النووى المتمثل فى نوى قابلة للانشطار ، هى نوى بنيت فى بواطن النجوم الأخرى ، وهو نوع من الطاقة النجمية

( الشمسية ) المخزونة فى هذه النوى ، وحتى الطاقة الحرارية الجوفية للأرض ترجع إلى طاقة النجوم ، إذا أخذنا فى الاعتبار أن الحرارة الجوفية تتولد من التفكك الإشعاعى للنوى التى صنعت فى باطن النجوم ، وجرى إدماجها فى جسم الأرض حين بدأت نشأتها .

والجزء الأكبر من الطاقة التى تستخدم من قبل الإنسان هى طاقة نجمية ( شمسية ) مباشرة ، لأن طاقة الشمس هى التى تسبب نمو النباتات ، ويشمل ذلك نباتات الغذاء ونباتات المواد الأولية مثل القطن والأشجار التى تأتى فيها الألياف والأخشاب إلخ .

### مخزون الطاقة العالمية :

وطبقاً للإحصائية التى أجرتها الولايات المتحدة الأمريكية بشأن مخزونات الطاقة العالمية عام ١٩٨٥ فكانت كما يلى :

البتروىل : يمثل ٣٨,٥ ٪ ، والغاز الطبيعى ٢٧,٨ ٪ والفحم ٢٣,٦ ٪ ، والوقود النووى ٥,٧ ٪ ، والسدود ومساقط المياه يمثلان ٤,١ ٪ ، وأصناف الوقود الأخرى كالخشب تمثل ٠,٣ ٪ ، وبالنظر فى هذا الإحصاء نجد نسبة الطاقة التى تحول مباشرة إلى صورة الاستعمال النهائى تمثل ٦٥ ٪ ، فى حين تجمد نسبة الطاقة التى تحول إلى كهرباء ٣٥ ٪ .

وحتى يدور الحديث حول الطاقة ينصب الاهتمام على الجزء الذى يحول إلى كهرباء ، وفى الوقت الحالى فإن أسعار البتروىل والغاز الطبيعى

والفحم زهيدة ومتوفرة ، ولا توجد مشكلة كبيرة تواجه توليد الطاقة الكهربائية ، ولكن لا مفر من أن تصبح هذه الموارد شحيحة وأكثر تكلفة بمرضى الوقت ، وليس مرجع ذلك إلى أن حقول البترول والغاز الحالية تستنزف ، وهذا لاشك فيه ، ولكن لأن معدل اكتشاف حقول جديدة يتناقص بسرعة .

### بدائل البترول والغاز :

والسؤال الذى يطرح نفسه ، ما الذى سيحل محل البترول والغاز عندئذ ؟ والمرشح الأول هو الاستعانة بالمفاعلات النووية لإنتاج الطاقة بالرغم من المشكلات التى تعترض هذه التكنولوجيا النووية ، والمتعلقة بالسلامة ، ومن التخلص من المخلفات المشعة ، ولنا أن نعرف أن فى العالم الآن حوالى ٥٠٠ مفاعل نووى لإنتاج الطاقة ، كما أن هناك خططاً لكثير من الدول لبناء المزيد منها .

ومما قد يكون أمراً ذا بال أن نعرف ما سيكون عليه سجل الطاقة النووية على المستوى العالمى بحلول القرن الحادى والعشرين .

### كيفية إنتاج الطاقة النووية :

ويقوم الليزر حالياً بدور هام فى الأبحاث الجارية بغرض توليد الطاقة النووية . وتطوير أجهزة الليزر العملاقة التى تستخدم فى هذا المجال تشكل تنافساً كبيراً بين العلماء ومراكز البحوث فى الدول



المتقدمة ، والأبحاث فى هذا المجال تعتبر من الأسرار العسكرية لهذه الدول .

ولكى نوضح أهمية استخدام تكنولوجيا الليزر فى إنتاج الطاقة ، نتناول أولاً كيفية إنتاج الطاقة النووية .

الطاقة النووية تتولد بطريقتين هما :

١ - الانشطار النووى .

٢ - الاندماج النووى .

الانشطار النووى :

ويحدث الانشطار النووى عادة فى نوى الذرات الثقيلة مثل ذرة اليورانيوم والبلوتينيوم أو الثوريوم ، وتنقسم هذه النوى إلى نوى أصغر فى المحتوى النووى ، أى التى تحتوى على عدد أقل من النيوكلونات ( النيوكلون وهو جسم نووى صغير كتلته تعادل كتلة البروتون وأما أن يكون متعادلاً كهربائياً ويسمى نيوترون أو يكون مشحوناً بشحنة موجبة تعادل شحنة الإلكترون ويسمى البروتون ) ويصاحب عملية الانشطار النووى انبعاث طاقة هائلة تعادل الفرق فى طاقة الترابط التى استخدمت لتماسك النيوكلونات فى النوى الكبيرة قبل الانشطار ، ومجموع الطاقات الأخرى للقوى المتولدة بعد الانشطار ، وتتميز هذه الطاقة بقدرتها العالية على الاحتراق والنفاز خلال الأجسام .

## الاندماج النووى :

أما عملية الاندماج النووى ، فتتم بين النوى فى الذرات الخفيفة ( مثل ذرات عنصر الهيدروجين أو الليثيوم ) ، لتكوين نوى أكبر منها تحت شروط معملية خاصة وينتج عن ذلك انبعاث طاقة نووية هائلة تعادل مائة مرة ضعف الطاقة النووية المولدة من عمليات الانشطار النووى .

واستطرادًا لهذا الحديث ، فإن الذرة تتكون من كرة متناهية فى الصغر ( بالمقارنة إلى الأبعاد الذرية ) وتتركز كتلتها فى المركز والذى يسمى بالنواة . وتحتوى النواة على عدد محدد من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة تعادل شحنة « الألكترون » وتسمى « البروتونات » وعدد آخر من جسيمات متعادلة تسمى النيوترونات ، ويتحدد الوزن الذرى بعدد النيكلونات فى النواة ، ويسبح حول النواة عدد مساو لعدد البروتونات يحمل شحنة سالبة تسمى ألكترونات ، ومن المعروف لدينا أن لكل ألكترون مدارًا حول النواة ما لم تؤثر عليه قوة خارجية مثل المجال الكهربائى أو المجال المغناطيسى .

وتكون كتلة الألكترون متناهية فى الصغر وتساوى  $\frac{1}{1840}$  من كتلة البروتون .

وعندما تنفصل الإلكترونات من الذرة ( تحت تأثير القوى الخارجية ) فإنها تترك النوى فى حالة تأين كامل . وبذلك تصبح المادة

فى الحالة الرابعة لها والتي أطلق عليها العلماء حالة البلازما "Plasma".  
وبلازما تلعب دوراً هاماً فى عمليات الاندماج النووى .

والذرات فى المادة الواحدة تتكون من نظائر مختلفة لها نفس  
الخصائص الفيزيائية ، لأنها تتساوى فى الشحنة الكهربائية الكلية  
ولكنها تختلف فيما بينها فى الوزن الذرى ، وذلك لاختلاف عدد  
النيوترونات بها .

### والنظائر الذرية نوعان :

أحدهما : يسمى بالنظائر المستقرة ، وتحتوى النواة بها على عدد  
ثابت من النيوكلونات لا تتغير مع الزمن .

والنوع الآخر : يسمى بالنظائر المشعة ، حيث أن عدد  
النيوكلونات بها قد يتغير مع الزمن ومع مرور الوقت تتحول إلى نظائر  
مستقرة . وتستخدم النظائر المشعة فى إنتاج الطاقة النووية .

وعلى سبيل المثال ، فإن ذرات اليورانيوم لها نظيران :

أحدهما : نظير مستقر (خامل أى غير مشع) ويحتوى على ٢٣٨  
نيوكلون ونسبته ٩٩,٣٪ من كمية اليورانيوم المتواجدة على الأرض .

والنظير الآخر : نشط نووياً ويحتوى على ٢٣٥ نيوكلون ونسبته  
فى الطبيعة ٠,٧٪ . وتتفاعل هذه النوى مع جسيمات النيوترونات ،

ويحدث سلسلة من الانقسامات تكون مصاحبة بتوليد الطاقة النووية ، وتنتهى هذه التفاعلات عند تكوين نواة عنصر الرصاص الخاملة .

والطاقة النووية المتولدة عن الانشطار النووى تحتاج إلى تقنية تكنولوجية عالية لفصل النظائر النشطة عن تلك النظائر الخاملة ، مما يستلزم بناء المفاعلات النووية ، حيث يتم توليد النيوترونات بطاقة عالية تصطدم بها نوى اليورانيوم النشط ويتم الانشطار النووى .

والتعامل مع المفاعلات النووية له مخاطر شديدة ، أهمها الأمان النووى ، هذا بالإضافة إلى النفايات المشعة التى تهدد حياة البشرية فى المستقبل القريب والبعيد .

أما بالنسبة للاندماج النووى ، فكما ذكرنا سلفا ، فإنه عادة يتم الاندماج بين نظائر ذرة الهيدروجين ، ويوجد فى الطبيعة ثلاثة نظائر هم : هيدروجين ١ ويحتوى على إلكترون واحد وبروتون واحد فى النواة ، وهيدروجين ٢ ويسمى الديوتريم ويحتوى على إلكترون واحد وبروتون واحد + نيوترون واحد فى النواة ؛ وأيضاً هيدروجين ٣ ويسمى التريوم ويحتوى على إلكترون واحد وبروتون واحد + اثنين من النيوترونات فى النواة ، ويتم الاندماج النووى بين نوى هذه النظائر فى غرفة معدنية كروية محكمة تحت ضغط مرتفع ( عدة ملايين من الضغط الجوى ) وعند درجة حرارة عالية جداً ، والطاقة النووية المتولدة عن طريق الاندماج النووى يمكن استخدامها فى الأغراض



السلمية والعسكرية على حد سواء ، والخبراء يتوقعون أن يتم إنتاج الطاقة النووية في المستقبل عن طريق الاندماج النووي بدلا من الانشطار النووي ، نظراً لأن المخزون العالمي من عنصر اليورانيوم قليل ، ولا يكفي الاستخدام لفترة طويلة من الزمان ، في حين يوجد رصيد ضخم من الهيدروجين الذي يلزم لعملية الاندماج ويمكن استخراجها من مياه المحيطات ( حيث أن جزيء الماء يتكون من ذرتين من الهيدروجين وذرة واحدة من الأوكسجين ) وفي عام ١٩٦٠ ، نجح العلماء في إنتاج القنبلة الهيدروجينية ، تتولد عنها طاقة اندماج نووي تعادل مائة مرة مقدار الطاقة التي تنتجها القنبلة الذرية نتيجة للانشطار النووي بها ، ومن المعروف لدينا أن القنبلة الهيدروجينية تحتاج لتشغيلها إلى انفجار قنبلة ذرية محدودة .

ومنذ ذلك الوقت ، دأب العلماء على تطوير الأبحاث لتوليد الطاقة عن طريق الاندماج النووي ، وقد ساعد على ذلك ابتكار أنواع عديدة من أجهزة الليزر التي أمكن استخدامها في هذا المجال .

### التوليد المغناطيسي :

وعملية الاندماج النووي تستلزم أن تكون المادة في حالة بلازمية ، أى في حالة تأمين كامل ، وقد نجح العلماء في توليد البلازما الحرارية باستخدام كرة معدنية كبيرة ممتلئة بغاز الهيدروجين تحت ضغط عال . وعند تطبيق مجال كهربائي (بطريقة خاصة) يتولد عنه كمية حرارية مرتفعة تعمل على فصل الألكترونات من ذرات الهيدروجين .

ويتم بعد ذلك الاندماج النووي باستخدام ما يسمى بتكنيك  
التوليد المغناطيسي "Magnetic Confinement".

وهذه الطريقة صعبة للغاية ، حيث أنها تستنفذ طاقة كهربائية  
عالية ، بالإضافة إلى أن مادة البلازما قد تتسرب خارجاً نتيجة لعدم  
التحكم في غلق الكرة المعدنية بدرجة كافية ، وهناك طريقة أخرى  
لإتمام عملية الاندماج تسمى التوليد الذاتي "Inertial Confinement".

وهذه الطريقة تعتمد أساساً على استخدام طاقة إشعاع خارجي  
( عادة تكون أشعة الليزر ) ، تتفاعل مع نظائر الهيدروجين ، الديوتريم  
والترتيوم ، وينتج عن ذلك توليد الأشعة السينية التي تسبب بالتالي رفع  
درجة الحرارة ، ويحدث الاندماج النووي ، وعملية الاندماج النووي  
تتأثر بتغير كثافة البلازما ( وهى عدد الأيونات الموجبة بها ) ، وأيضاً  
بالزمن المستغرق لإتمام الاندماج ذاته .

### أجهزة ليزر عملاقة :

وفى الحقبة الأخيرة لجأت الدول الكبرى إلى عمل برامج بحثية  
طموحة لتطوير وبناء أجهزة ليزر عملاقة يمكن أن تولد طاقة ضوئية  
عالية وفى نبضات زمنية قصيرة جداً ، يمكن بواسطتها إنتاج الطاقة  
عن طريق الاندماج النووي التى سبق شرحها ، على سبيل المثال فى  
عام ١٩٧٥ ، قامت الولايات المتحدة الأمريكية ببناء ثلاثة أجيال من  
أجهزة الليزر العملاقة التى أطلق عليها أسماء شيفا ونوفا وهيليوس ،

وهى تعتبر أحد أنواع ليزر « ثانى أكسيد الكربون » وتختلف فيما بينها فى مقدار الطاقة الضوئية المنتجة ، حيث أن جهاز شيفا ينتج حوالى ١٠,٠٠٠ جول (عشرة آلاف جول) من الطاقة الضوئية فى نبضات ليزرية لا يتعدى طولها الزمنى عن  $10^{-9}$  من الثانية ؛ هذه الطاقة تعادل ٠,٠٠٣ كيلو وات - ساعة ، وهى تكفى لتشغيل مصباح كهربائى بقدرة ٦٠ وات لمدة ٣ دقائق ، وهذه النبضات الليزرية يمكن تركيزها فى بؤرة ضوئية قطرها ٠,١ ملليمتر . وأقصى قيمة للطاقة ينتجها جهاز شيفا تعادل ٣٠ تريليون وات (أى  $30 \times 10^{12}$  وات) .

أما أجهزة الليزر من طراز نوبا وهيليوس فيعتبران من الجيل الثانى من هذه الأجهزة العملاقة وتم الانتهاء من بنائها فى عام ١٩٨٣ ، ويمكن بواسطتها إنتاج طاقة ضوئية مقدارها ٢٠٠,٠٠٠ إلى ٣٠٠,٠٠٠ جول فى نبضة ليزرية طولها الزمنى  $3 \times 10^{-9}$  ثانية .

وهناك أنواع أخرى من الليزرات الصلبة مثل الليزر البلورى المصنوع من النيودميوم والياج . وهذا النوع يعمل فى مدى الأشعة تحت الحمراء بطول موجى ١,٠٦ ميكرو متر ، كما أمكن بناء ليزر عملاق آخر فى ألمانيا سى ليزر أليود ، وهذا الجهاز يولد طاقة ضوئية مقدارها ١٥٠,٠٠٠ جول .

وتختلف أجهزة الليزر العملاقة فيما بينها طبقا لمراحل التكبير

الضوئي لأشعة الليزر المولدة ، على سبيل المثال جهاز ليزر اليود يتم به تكبير شعاع الليزر حوالى ٣٥٠ مرة ضعف الشعاع الأصلي ، ويتم ذلك باستخدام ٥ مراحل مختلفة للتكبير ، بينما جهاز شيفا الأمريكى فيتكون من ٨ مراحل تكبير ، أما جهازى نوبا وهيليوس فلهما ٢٠ مرحلة تكبير للشعاع الليزرى .

وقد اتجهت مراكز البحوث فى الدول المتقدمة إلى التركيز على تطوير وبناء أجهزة الليزر العملاقة لاستخدامها فى توليد الطاقة النووية عن طريق الاندماج النووى ، وقد لجأ بعض العلماء إلى تطوير أنواع أخرى يمكن استخدامها فى فصل النظائر المخصبة فى عنصر اليورانيوم ، والتي تستخدم فى توليد الطاقة عن طريق الانشطار النووى .

ولكى نوضح كيفية استعمال الليزر فى تخصيب اليورانيوم ، دعنا نتذكر أن عنصر اليورانيوم له نظيران : أحدهما خامل ويسمى يورانيوم ٢٣٨ ونسبته فى الطبيعة ٩٩,٣% ، والآخر خصب (نشط) ويسمى يورانيوم ٢٣٥ ونسبته فى الطبيعة ٠,٧% ، ولكى يتم توليد الطاقة النووية عن طريق الانشطار ، يجب فصل اليورانيوم الخصب من عنصر اليورانيوم الخامل .

وعادة يتم فصل النظائر المخصبة فى عنصر اليورانيوم باستخدام مفاعلات نووية تعتمد أساسا على التفاعل الكيميائى لمركبات عنصر



اليورانيوم ، إما عن طريق الانتشار الغازى أو عن طريق قوة الطرد المركزية للغازات ؛ ويستخدم فى ذلك أحد مركبات اليورانيوم الكيميائية مثل يورانيوم هيكسا فلوريد . "Uranium Hexafluoride" الذى يصبح غازاً عند درجة حرارة ٥٦ مئوية .

وعند انتشار هذا الغاز تترسب الذرات الثقيلة والتي يمكن فصلها بعد ذلك عن باقى الغاز واستخدام المفاعلات النووية لهذا الغرض يكون باهظ التكاليف ( ثمن المفاعل الواحد حوالى ألف مليون دولار أمريكى ) هذا بالإضافة إلى أن نسبة الفاقد فى كمية اليورانيوم المخصب التى يتم إنتاجها تصل إلى ٤٠٪ ، مما يجعل استخدام الطاقة النووية فى الأغراض السلمية مكلفاً للغاية بالمقارنة إلى تكاليف أنواع أخرى من مصادر الطاقة .

وعملياً يمكن فصل النظائر فى أى عنصر باستخدام أشعة الليزر المنتخبة ، بشرط أن يكون هذا العنصر قابلاً للتفاعل كيميائياً مع مواد أخرى ، بحيث يسهل استخراجها ، والفكرة تعتمد على إنتاج بخار ذرى من عنصر اليورانيوم عن طريق التسخين ، حيث إن التركيب الخاص بمستويات الطاقة الالكترونية فى ذرات اليورانيوم مختلف فى كل نظير عن الآخر ، تبعاً لحجم النواة بها .

وعلى هذا الأساس يمكن انتخاب شعاع الليزر عند طول موجى محدد لإثارة أو تهيج ذرات اليورانيوم ٢٣٥ دون ذرات اليورانيوم ٢٣٨ ، وباستخدام مجال كهربائى يمكن تأيين هذه الذرات المثيجة

بالكامل ، وتتفاعل الأيونات الموجبة لليورانيوم ٢٣٥ كيميائيا مع أحد المواد ويتم فصلها عن الذرات الأخرى الغير المثيجة ، والمشكلة التي تعترض هذه الطريقة متعلقة بكيفية إنتاج البخار الذرى من عنصر اليورانيوم ، حيث يحتاج ذلك إلى حرارة مرتفعة ، بالإضافة إلى أن البخار الذرى من هذا العنصر المشع تكون فى منتهى الخطورة وتحتاج إلى إجراءات أمنية معقدة .

وما زالت الأبحاث جارية فى هذا المجال ، ويعتقد المحللون والخبراء العلميون أن استخدام الليزر فى تخصيب اليورانيوم له فوائد كثيرة أهمها تقليل الفاقد من هذا العنصر الهام تصل إلى ١٠٪ ومن المتوقع أن يعمم استخدام الليزر فى المستقبل القريب لتوليد الطاقة النووية عن طريق الانشطار والاندماج النوويين وبأسعار اقتصادية .



## الفصل الرابع

### أشعة الليزر وتكنولوجيا الاتصالات

بداية ، ومنذ القدم تطلع الإنسان إلى تطوير مجال الاتصالات . وقبل أن تكتشف الكهرباء ، أمكن استخدام الضوء فى هذا المجال الهام بغرض التراسل ، وذلك بواسطة الإشارات الضوئية المتولدة من النيران . وتبع ذلك اختراع « السيمافور » « أعمدة الإشارات على قمم الجبال » .

وخلال القرنين السابقين أمكن تطوير وسائل الاتصال بغرض نقل المعلومات والرسائل فى أسرع وقت .

وبالرغم من اختراع التلغراف ، إلا أن الجهود استمرت فى البحث من أجل تطوير التكنولوجيا السمعية والبصرية فى مجال الاتصالات ، وقد تمكن العالم الكسندر جراهام بل سنة ١٨٨٠ من اختراع جهاز « التليفون » وذلك عن طريق نقل موجات الصوت خلال الكابلات السلكية .

ومنذ اكتشاف الأشعة الكهرومغناطيسية وخصائصها فى نقل المعلومات ، أمكن بواسطتها تطوير نظم الإشارات التليفزيونية التى



يمكن بواسطتها حمل آلاف من المعلومات ، بالطبع أكبر من تلك المعلومات التى يتم نقلها بواسطة التليفون أو التلغراف .

ومن المعروف الآن ، أنه كلما ازداد تردد الموجات الكهرومغناطيسية ، ازدادت بالتالى كمية المعلومات المنقولة ، على سبيل المثال ، تردد الموجات الضوئية يكون فى حدود ٨٠٠ تريليون هرتز ( أى  $800 \times 10^9$  دورة موجية كاملة فى الثانية ) ، بينما تردد الموجات الصوتية المنقولة عبر التليفون فهى بين ١٠٠٠ و ٤٠٠٠ هرتز . أما تردد الإشارات التليفزيونية فهى ٥٠ مليون هرتز . هذه الأرقام توضح لنا المقارنة فى نقل كمية المعلومات .

ومنذ البداية ، خلقت هذه الأرقام مشكلة ما يسمى « بعنق الزجاجة » . هذه المشكلة تتلخص فى أنه يمكن نقل كم هائل من المعلومات ، دون معرفة وسيلة النقل التى يمكنها حمل هذه الموجات الضوئية . وتكمن هذه المشكلة فى كيفية إيجاد المصدر الضوئى المناسب ، وأيضاً توفير وسيلة انتقال هذا الضوء .

والجدير بالذكر ، أنه فى مجال استخدام الضوء فى نقل المعلومات ، استطاع العالم جراهام بل سنة ١٨٨٠ (وبعد اختراعه لجهاز التليفون) أن يصنع جهاز اسمه « الفوتوفون » ، يمكن بواسطته نقل الموجات الصوتية باستخدام الأشعة الضوئية الشمسية ، وفكرة عمل هذا الجهاز تتلخص فيما يلى : عندما نسقط الموجات الصوتية

ذى الترددات المختلفة ( النبضات ) على مرآة عاكسة للأشعة الشمسية ، مثبتة على رقائق من المطاط ، يتغير اتجاه المرآة بتغيير تردد الموجات الصوتية ، مما يسبب تشكيل الضوء بالنغمة الصوتية أو ما يسمى "Light Modulation" ، وتنتقل الموجات الصوتية عن طريق انتشار الضوء .

### مشكلة جهاز الفوتوفون :

والمشكلة الحقيقية التى واجهت هذا الابتكار فى ذلك الوقت ، هى كيفية تحويل الشفرة الصوتية مرة أخرى بعد تحليل الموجات الضوئية المستقبلية فى جهاز الاستقبال .

وفى ما بعد أثبتت التجربة أن جهاز الفوتوفون غير عملى ، حيث أن الأشعة الشمسية يمكن حجبها وامتصاصها بواسطة طبقات الجو وأيضا عن طريق المتغيرات المناخية مثل : الأمطار والضباب والصقيع إلى آخر ذلك .

منذ ذلك الوقت ، أصبحت المحاولات الخاصة بتطوير هذا المجال من الاتصالات ضئيلة للغاية ، حتى جاء عصر الليزر والألياف البصرية وكانا بمثابة العهد الجديد لثورة الاتصالات .

### عصر الألياف البصرية :

من المعروف لدينا ، أن الضوء ينتشر فى خطوط مستقيمة وفى الإمكان نقل الإشارات الضوئية خلال منحنيات طولية لشعيرات رقيقة

من الزجاج ( مثلاً ) . هذه الشعيرات تسمى بالألياف البصرية .  
ويشبه ذلك انتقال التيار الكهربائي عبر أسلاك التماس .  
والفكرة الأساسية لانتقال الضوء عبر الألياف البصرية تعتمد  
على ظاهرة الانعكاس الكلي للضوء . ولكي نوضح ذلك ، نذكر أن  
الضوء ينتشر بسرعة فائقة ( ٣٠٠,٠٠٠ كيلومتر في الثانية ) خلال  
الفراغ أو الهواء ، وهذا هو أقصى مدى تصل إليه مقدار هذه السرعة .  
فإذا سقط الشعاع الضوئي على وسط ما ، كثافته البصرية أكبر من  
الهواء ( كالزجاج مثلاً ) ، فإن سرعة انتشار الضوء في هذا الوسط  
تكون أقل منها في الهواء ، أى أن مقدار سرعة انتشار الضوء في  
المواد المختلفة يعتمد على ما يسمى بمعامل انكسار الوسط الذى  
يعرف بأنه النسبة بين سرعة انتشار الضوء في الهواء إلى سرعته في  
الوسط ، ومن المعروف أيضاً ، أن الضوء ينتقل من الوسط الأقل  
كثافة بصرية إلى الوسط الأكثر كثافة والعكس غير صحيح ، هذا  
يعنى عندما ينتقل الضوء من وسط مثل الزجاج الذى يحده الهواء ،  
ويسقط الشعاع الضوئي بزاوية سقوط أكبر قليلاً من ما يسمى  
« بالزاوية الحرجة » فإنه يعانى انعكاساً كلياً داخل الزجاج مرة  
أخرى .

هذه الظاهرة أمكن تطبيقها بنجاح عند صناعة الألياف البصرية ،  
حيث يستخدم فى ذلك نوعان مختلفان من مادة الزجاج ، أحدهما  
شديدة الكثافة البصرية ( أى أن معامل انكسارها للضوء يكون  
كبيراً ) ويصنع منها رقائق قطرها صغير جداً ( بضعة من

الميكرومترات ) وتسمى قلب الشعيرة ( أو اللب ) ، يكسوها طبقة أخرى من الزجاج أقل كثافة بصرية تسمى القشرة . وينتقل الضوء فى مسار مستقيم داخل قلب الشعيرة . فإذا اصطدم الشعاع الضوئى بالسطح الداخلى ، فإنه ينعكس كلية داخل اللب مرة أخرى ، وهكذا ينتقل الضوء عبر الألياف البصرية بواسطة الانعكاسات الكلية المتتالية بين الأسطح الجانبية الداخلية للشعيرة . ويثبت بين طرفى الشعيرة جهاز إرسال لإشارات الضوئية ، عادة جهاز ليزر خاص وفى الطرف الآخر جهاز استقبال ، يمكن بواسطته تحليل الشفرة الضوئية باستخدام بعض الخلايا الكهروضوئية ( التى لها خاصية كهربية وضوئية ) متصلة مع جهاز كمبيوتر .

ويحتوى جهاز الإرسال مصدرًا ضوئيًا ، إما أن يكون أحد أنواع ليزر أشباه الموصلات "Semi Conductor Laser" ( وهو عبارة عن بلورة من أشباه الموصلات حجمها صغير جدًا ( مثل ذرة الملح ) ، موضوعة داخل وعاء صغير يسمى ( مذبذب الليزر ) بين طرفيه مرآتان أو يستخدم بدلاً من جهاز الليزر ، جهازاً آخر يسمى باعث الضوء الثنائى "LED" "Light Emitted Diode" ، وتبعث الأشعة من هذا الجهاز فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء ، لذا يطلق عليه عادة اسم "Infra - Red Emitted Diodes" أو ( IRED's ) .

أما جهاز الاستقبال ، يحتوى على كواشف ضوئية يمكن بواسطتها تحليل الشفرة الضوئية والحصول على المعلومات .



ويلعب معامل الاضمحلال ( فقد ) الموجات نتيجة نفاذها خارج الألياف ، دوراً أساسياً في إمكانية وكفاءة استخدام تلك الألياف البصرية كوسط للتراسل . وكمية الاضمحلال تقاس عادة بوحدة اسمها الديسيبل "Decibel" (DB) وهي تعرف بمقدار ما تفقده الموجات نتيجة مرورها في الألياف لكل كيلومتر .

وكلما زاد معامل الاضمحلال للوسط ، تسبب ذلك في نفاذ الموجات وفقدانها ، في هذه الحالة يكون التراسل بهذه الوسيلة عبر مسافات قصيرة ومحدودة الاستخدام . وقد ظهر مؤخرًا ، أن معامل الاضمحلال الذي يحدث نتيجة نفاذ الموجات في الزجاج المستخدم في صناعة الألياف ، ليس خاصية من خصائص المادة ، إنما هو نتيجة وجود شوائب . إذ أن الفقد الذاتي للمادة النقية تمامًا يحدده في النهاية مقدار تشتت الأشعة نتيجة مكونات المادة ذاتها ، وهذا ما يسمى بتشتت « رايلي » . ومقدار التشتت وجد أنه يتناسب عكسيًا مع الأس الرابع لطول الموجة الضوئية ، وعلى ذلك ، يمكن القول إن معامل الفقد يقل بزيادة الطول الموجي ، وبالتالي أصبح التخلص من الشوائب هو المدخل نحو صناعة ألياف بصرية مناسبة للتراسل الضوئي ، والألياف البصرية نوعان هما :

**النوع الأول :** يسمى الألياف البصرية أحادية المنوال "Single Mode Fibers" وتتميز هذه الألياف بأن معامل انكسار قلب الشعيرة

للضوء يكون ثابتاً ، ولذلك يحمل هذا النوع من الألياف خاصية واحدة من الموجات الضوئية .

أما النوع الثانى : ويسمى الألياف متعددة المنوال "Multi modes Fibers" ، وتتميز بأن معامل انكسار قلب الشعيرة يتغير من أعلى قيمة له عند مركز الشعيرة ، ويقل تدريجياً إلى أن يصل إلى السطح ، ويستطيع هذا النوع من الألياف أن يحمل المئات من الموجات الضوئية مختلفة المنوال .

### نظم الاتصالات الضوئية :

وعلى ذلك ، فإن نظم الاتصالات الضوئية تختلف عن مثيلاتها التقليدية والتي تستخدم موجات الراديو فى عدة نقاط هى :

#### ( أ ) طبيعة المكونات والمركبات الضوئية :

وهى تختلف تماماً عن مثيلاتها من الأنظمة الأخرى من حيث تكنولوجيا التصنيع وإمكانية الاستخدام .

#### (ب) الانتشار الموجى :

ونظراً لأن طول الموجة الضوئية المرئية وغير المرئية ( مثل الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية ) ، يقترب من أبعاد الجزئيات المتواجدة فى طبقات الجو ، الأمر الذى يجعل انتشار هذه الموجات صعباً للغاية ، ويجعل أيضاً تجنب الضوضاء الناتج عن مصادر الضوء التقليدى المحيط مستحيلاً .

## (ج) الكاشف الضوئي :

طبيعة الكاشف الضوئي تضع حدًا أدنى لحساسية المستقبل ، لا يمكن تجاوزه بتقليل الضوضاء الجانبية والداخلية بالنسبة لمستوى الإشارة المستقبلية .

وهذا الأسلوب يزيد من حساسية أجهزة الاستقبال ومن مميزات تطوير نظم الاتصالات الضوئية :

١ - تحسين أمانة نقل المعلومات .

٢ - زيادة حجم المعلومات التي يمكن نقلها .

٣ - زيادة المسافة بين محطات الإرسال .

وقد أمكن في الوقت الحاضر تصنيع ألياف بصرية ذات معامل انضغاط يصل إلى ٠,٢ ديسيبل/ كم باستخدام مادة النسيكا ، ويجرى حاليًا أبحاث علمية مكثفة بغرض تصنيع ألياف من مواد زجاجية أخرى تعرض خفض معامل الانضغاط ليصل إلى ٠,٠٠١ ديسيبل/ كم ، وبالتالي تزداد مسافة الاتصال ، ويقل عدد محطات التقوية المستخدمة في الاتصالات بعيدة المدى .

وقد أمكن حاليًا نقل ٥٦٥ مليون نبضة ليزرية في الثانية الواحدة ، يحتمل أن تزداد إلى ٢ ميجا نبضة ليزرية ( أى  $2 \times 10^9$  نبضة ليزرية في الثانية ) علاوة على ذلك فإن الألياف تصنع من مواد عازلة لا تتأثر بالموجات الكهرومغناطيسية والضوضاء المحيط بها ، وذلك يعطيها

مميزات عديدة لتحقيق الاتصالات بكفاءة عالية .

ومن أهم الإنجازات فى هذا المجال هو :

( أ ) الحماية من التصنت :

نظرًا لعدم انتشار الموجات الضوئية خارج الألياف المستخدمة ، فإن إمكانية التصنت تصبح مستحيلة ، كما أن ظاهرة السمع المتبادل الموجودة فى الوسائل الخطية التقليدية تختفى تمامًا .

(ب) تقليل الحجم وخفة الوزن :

فى مجال الاتصالات يكون حجم هوائى الاستقبال متناسبًا مع طول الموجة المرسله ، وفى مجال الاتصالات بواسطة الليزر يكون حجم هذا الهوائى متناهى الصغر بالمقارنة بما هو مستخدم فى النظم التقليدية ونظرًا لأن قطر الألياف البصرية صغير جدًا بالمقارنة بالكابل التقليدى الذى يتعدى قطره أربعة سنتيمترات ويحتوى على ٩٠٠ زوج من الأسلاك ، إلا أن هذه الألياف تحمل بخلاها كمًا هائلًا من المعلومات .

ومن ناحية الوزن فإن كابلًا من الألياف البصرية وزنه ١,٥ كيلو جرام يمكن أن يحل مكان كابل من الأسلاك النحاسية التقليدية وزنه ١٠٠ كيلوجرام .

ولذلك فإن قلة الحجم وخفة الوزن تعطى مميزات كثيرة لكافة الأغراض خاصة فى استخدام سفن الفضاء والطائرات والصواريخ .



كما أنها تقدم وفراً اقتصادياً في عمليات النقل وتخزين المعلومات ومازالت الأبحاث جارية في هذا المجال الهام ، والأمل معقود على علمائنا العرب للحاق بهذا الركب الحضارى .

ومن أهم العمليات التي تستخدم في نظم الاتصالات البصرية الخاصة بنقل الإشارات والشفرات بواسطة أشعة الليزر هي عمليات التضمين الليزرية "Laser Modulation" والتضمين الليزرى نوعان هما :

( أ ) التضمين الليزرى الداخلى : "Internal Laser Modulation"  
وفى هذه العملية ، يتم تحميل الإشارات على الحزمة الليزرية داخل وعاء ( مرئاة ) الليزر .

( ب ) التضمين الليزرى الخارجى "External Laser Modulation"  
فى هذه العملية ، يتم تحميل الإشارات على الحزمة الليزرية خارج وعاء ( مرئاة ) الليزر .

وتعتمد صيغة التضمين الداخلى على التغير الصغير الذى تحدثه الأجزاء المضافة للطول الفعال لمرئاة الليزر . فى هذه الحالة ، فإن تردد نمط الحزمة الليزرية المنطلقة من مولد الليزر يعتمد على طول المرئاة وكيفية حدوث التغير ، ويتحقق ذلك بالاستعانة بظاهرة تسمى تأثير بيزو الكهربائى "Piezoelectric Effect" وهى ظاهرة تغيير أبعاد المواد البلورية عند التأثير عليها بفولتية محددة ؛ ويتم ذلك بجعل هذه البلورة جزءا من المرايا التى تحدّ جانبى مرئاة الليزر ،

هذه الطريقة ، تسبب تغيراً قد يصل إلى نصف الطول الموجي لأشعة الليزر المستخدم . فى حالة استخدام ليزر الهيليوم + النيون المميز بطول موجي مقداره ٦٣٢٨ انجستروم فإن مقدار التغير يساوى  $3 \times 10^{-5}$  سم . أى أن التردد الموجي يتغير بمقدار ١٥٠ ميگاهيرتز . كما يمكن تحقيق التضمين الليزري الداخلى باستعمال التضمين المغناطيسى . أما التضمين الليزري الخارجى ، فيعتمد على ظاهرتى الاستقطاب الضوئى "Light Polarization" وازدواجية الانكسار الضوئى "Bi-refringence" ، هذا بالإضافة إلى طريقة انحراف الحزم الضوئية .

ويمكن إجراء عمليات التضمين للإشارات بواسطة الليزر بالطرق الآتية :

١ - التضمين السعوى

Amplitude Modulation

٢ - التضمين الترددى

Frequency Modulation

٣ - التضمين النبضى الشفرى (الكودى)

Pulse Code Modulation

وفيما يلى نستعرض كيفية تحقيق التضمين باستخدام هذه الطرق .

التضمين السعوى :

فيمكن إجراء عملية التضمين الليزرى السعوى بواسطة ما يلى :

## ( أ ) تضمين الضخ :

وفى هذه الطريقة ، يتم تضمين شدة الحزمة الضوئية الليزرية بواسطة مغلاق "Shutter" ميكانيكى ، وتتصف هذه الطريقة بمحدودية السرعة ، وانخفاض عرض النطاق الترددى . ويمكن الحصول على نُطق ترددية عريضة عن طريق تضمين مصادر ضخ الطاقة المستعملة فى استثارة المادة الفعالة فى مولد الليزر . على سبيل المثال ، أمكن تضمين ليزرات أشباه الموصلات بهذه الطريقة حتى تردد مقداره ١٠١ هرتز ، وذلك عن طريق تضمين شدة التيار الكهربائى المستخدم فى ضخ ( تشغيل ) مولد الليزر .

## ( ب ) التضمين الكهرو بصرى Electro-Optic Modulation

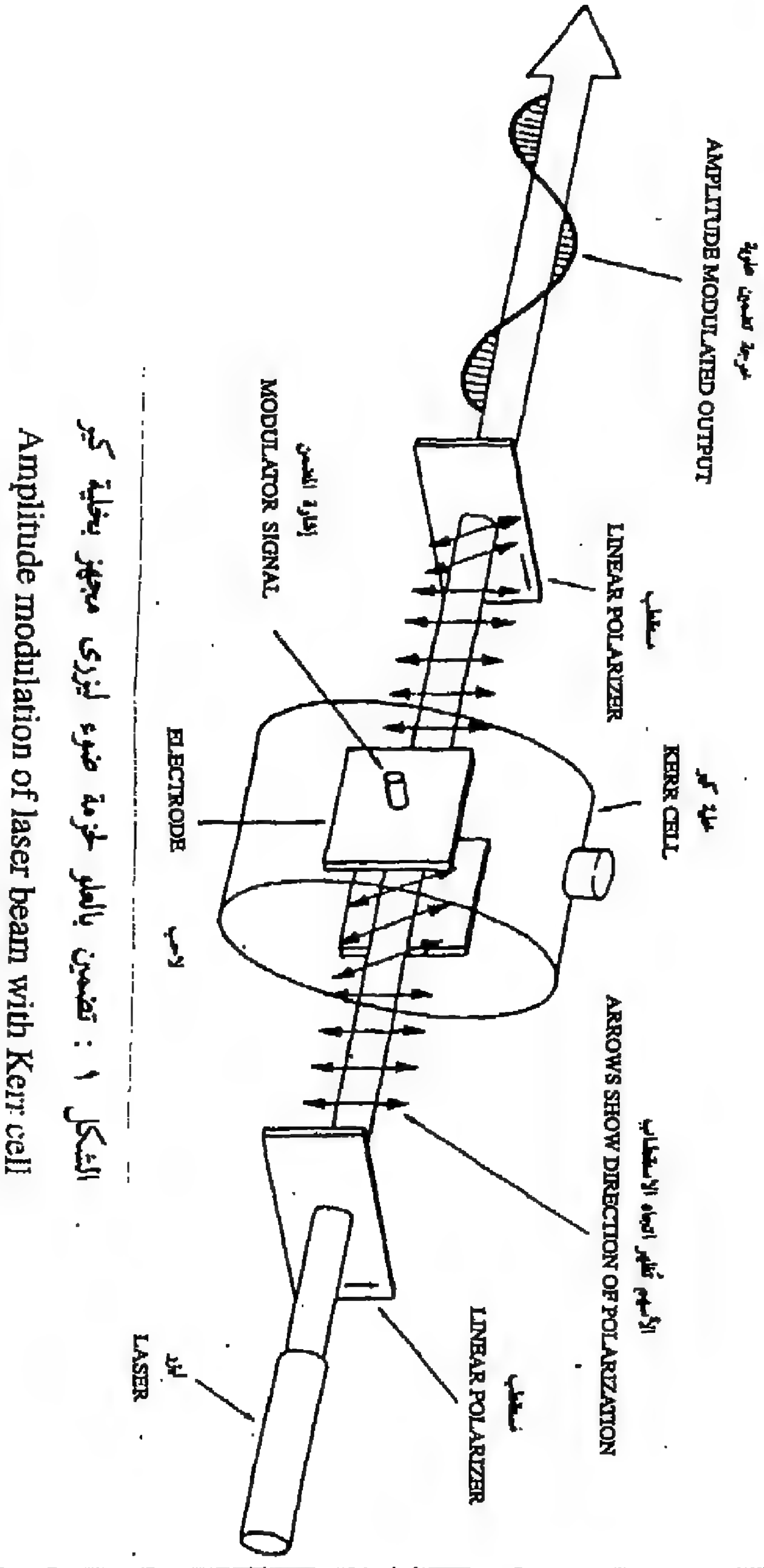
وأساس هذه الطريقة وقرينتها المغنيطو بصرية "Magneto-Optic" تعتمد على حدوث تغير فى معامل الانكسار "Refractive Index" للمادة عند تسليط مجال كهربائى أو مجال مغناطيسى عليها ، وتسمى هذه الظاهرة « بتأثير كير » "Kerr - Effect" و « تأثير بوكيل » "Pockels Effect" . ونستفيد من ظاهرة تغير معامل الانكسار مع تبدل المجال فى عمليات التضمين الليزرى ، حيث يمكن ضم المادة البلورية هذه ، إلى تركيب مولد الليزر ، ثم بعد ذلك يُسلط مجال كهربائى أو مغناطيسى ، تردده له علاقة مباشرة بتردد الإشارة المراد تضمينها ، على هذا الأساس ، يتم تضمين أشعة الليزر المارة خلال البلورة ، التى

يتغير معامل انكسارها بموجب الإشارة المراد تضمينها ؛ وتستخدم طريقة التضمين الكهرو بصرية داخل أو خارج مرئاة الليزر ، وبذلك تتميز هذه الطريقة بتحقيق التضمين الليزرى الداخلى أو التضمين الليزرى الخارجى .

فى هذا النظام ، عادة تستخدم « خلية كير » "Kerr Cell" ، التى تتألف من سائل نترى البنزين النقى الشفاف "Nitrobenzene" موضوع بين قطبين كهربائيين (Electrodes) . انظر الشكل التوضيحي رقم (١) .

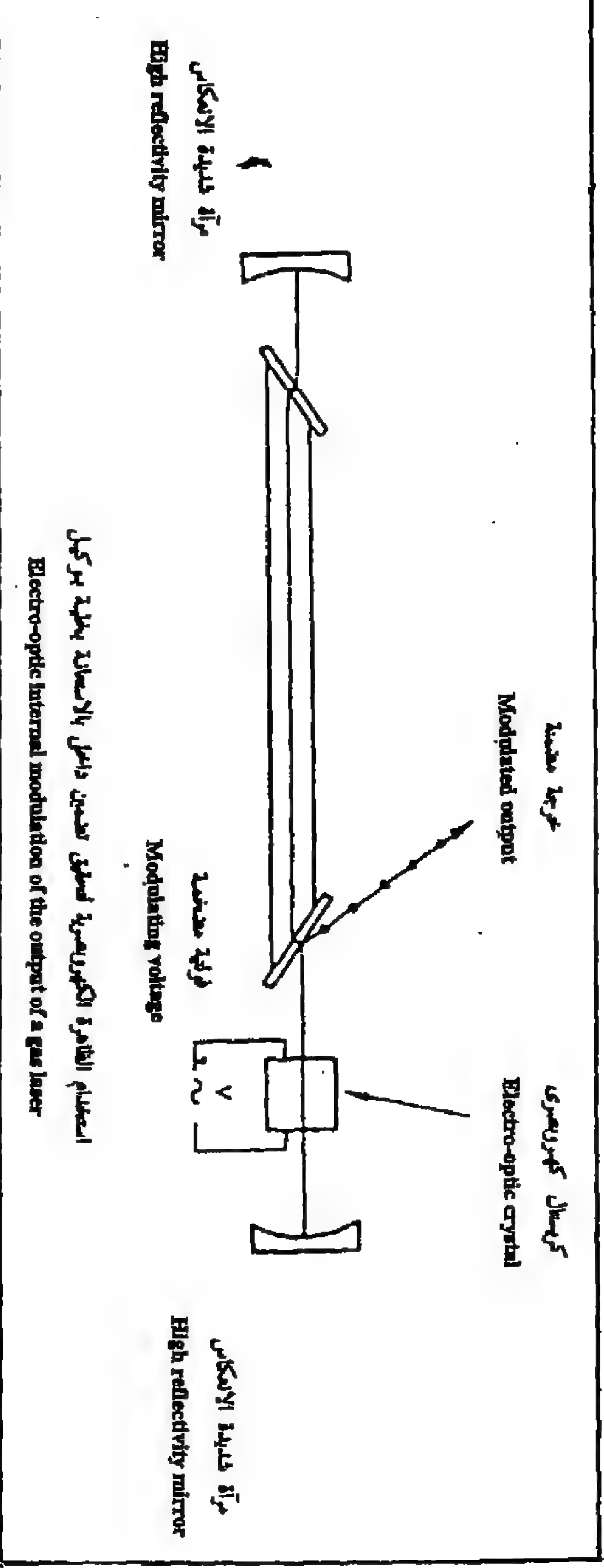
وعندما يسلط فرق جهد كهربائى بين القطبين الكهربائيين ، يقوم السائل بتدوير مستوى الاستقطاب للضوء المار خلاله . ويتناسب مقدار هذا الدوران مع طول خلية كير ومع مربع فرق الجهد الكهربائى بين القطبين ، هذه العملية تسمى التضمين الاستقطابى "Polarization Modulation" . ويمكن تحويل التضمين الاستقطابى إلى تضمين سيعوى ، وذلك بإمرار الحزمة الضوئية خلال مستقطب (Polarizer) ، والتضمين بهذه الطريقة محدد ببضعة من الميجاهرتز ، وذلك بسبب الثابت الزمنى لخلية كير نفسها ، وللحصول على ترددات تضمين أعلى ، يجب زيادة مسافة التداخل ، وذلك باستحداث خط انتقال للأشعة الضوئية محاط بعازل يتغير مع الزمن والتى يمكن لخلية كير أن تمثل ذلك . ويوضح الشكل (٢) ، كيفية استخدام الظاهرة الكهرو بصرية ، لتحقيق تضمين ليزرى داخلى وذلك بالاستعانة بخلية





الشكل ١ : تضيق بالمو خزمة ضوء ليزري مجهز بخلية كير

Amplitude modulation of laser beam with Kerr cell



الشكل (٢)

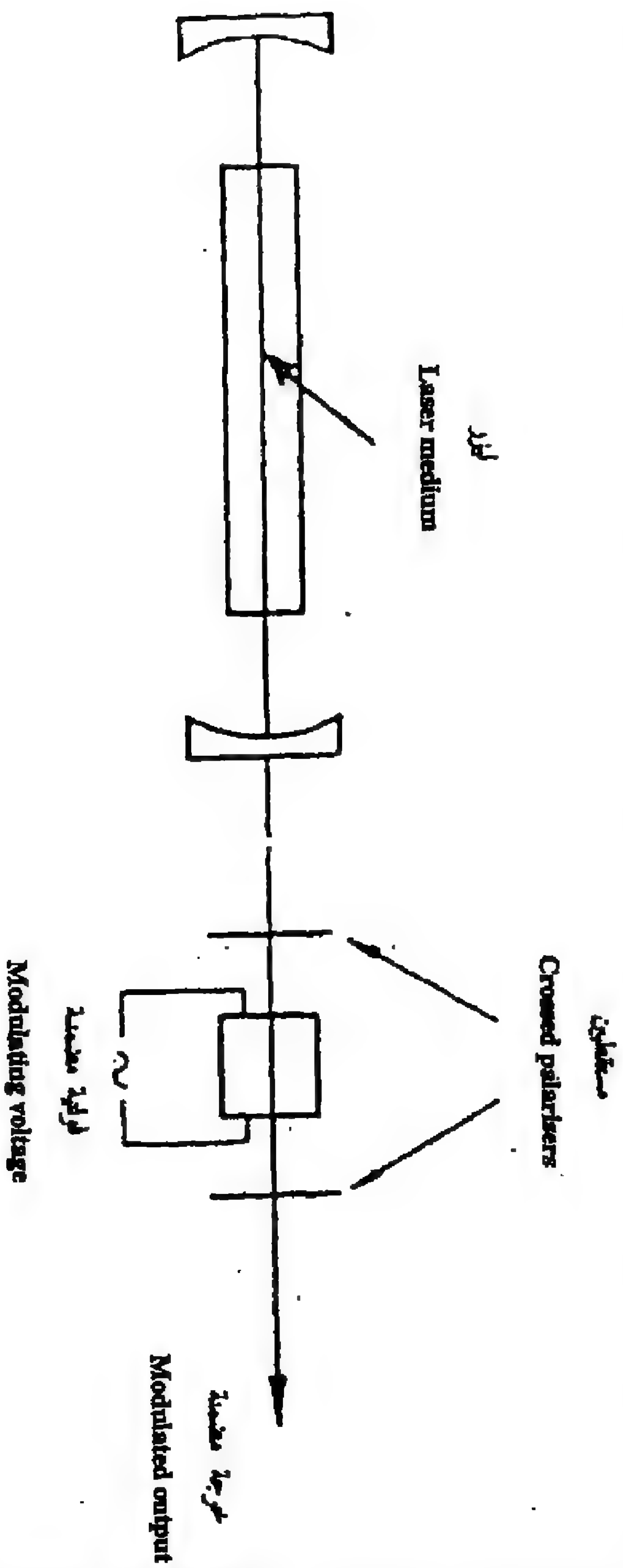
بوكيل ، المستثارة طولياً "Longitudinally Excited" .

هذه الخلية وضعت داخل تجويف المرئاة الليزرية ، وتقوم الخلية بتدوير أو تغيير اتجاه مستوى الاستقطاب للضوء المنعكس عند تسليط فولتية محددة عليها .

وبناء على ذلك ، فإن الضوء المار خلال خلية بوكيل من اليسار إلى اليمين ( والذي تعرض إلى انعكاسات عند مرايا المرئاة ) سيتعرض ثانية إلى تدوير إضافي بالاستقطاب ، وذلك عند عودته مرة أخرى من خلال الخلية ، وعندما يتم تدوير مستوى الاستقطاب بمقدار ٩٠ درجة ، تجري عملية إخراج لهذا الضوء من المرئاة ويستعان في ذلك بما يسمى نافذة برويستر (Brewster Window) وهي إحدى المكونات الأساسية البصرية المستخدمة في تركيب مرئاة الليزر خاصة في حالة الليزرات الغازية .

هذه المنظومة تعطى نسبة مئوية تضمينية وكفاءة عاليتين ، إضافة إلى إمكانية تحقيق تضمين في نطاق ترددي واسع (Broadband Modulation) .

كما يمكن استخدام خلية بوكيل المستثارة طولياً في إجراء عمليات التضمين الليزري الخارجى ، كما هو موضح فى الشكل (٣) ، يلاحظ أحياناً فى بعض الليزرات أن الضوء النافذ خير مستقطب ، فى هذه الحالة ، يوضع مستقطبان للضوء على جانبى خلية بوكيل



ترتيب الأجزاء في الليزر لصفلي نصفين كهربائى خارجى

Arrangement of components for external electro-optic modulation of a laser



الموضوعة خارج مرئاة الليزر ، ويتم تثبيت خلية بوكيل ، بحيث يكون محور المستقطبين يميل بزاوية ٤٥ درجة بالنسبة إلى الحزمة الليزرية الداخلة إلى الخلية ، فى هذه الحالة ، يكون الضوء الخارج متألّفاً من أربعة مكونات أساسية ، زوج منها مستقطب بزوايا متعامدة على مستوى الاستقطاب للمستقطب الثانى ، والزوج الآخر ، يكون مستقطبا فى نفس الاتجاه لمستوى الاستقطاب . ويلاحظ أن الإشعاعات الأولى تمر ، بينما تحجب الإشعاعات الثانية ، ويحدث تداخلا بين زوج الإشعاعات المتحركة ، بحيث تعتمد الشدة الضوئية الناتجة على الفرق الطورى فيما بينها ، وأحيانا يكون التداخل هداما ، عندئذٍ ، تكون الشدة الضوئية مساوية صفر وأحيانا أخرى يحدث تداخل بناء ، وتكون الشدة الضوئية عند أقصى قيمة لها . ويمكن التحكم بالشدة الضوئية الخارجية بتغير الفولتية المطبقة على خلية بوكيل ، وهكذا ترى ، كيف أن شدة الضوء الليزرى المار خلال خلية بوكيل ، يمكن تضمينه عند الربط بين تردد الإشارة المراد تضمينها وترحيلها وتردد المجال الكهربائى المطبق على الخلية ويمكن الاستعانة حاليا ببعض البلورات مثل :

Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP)

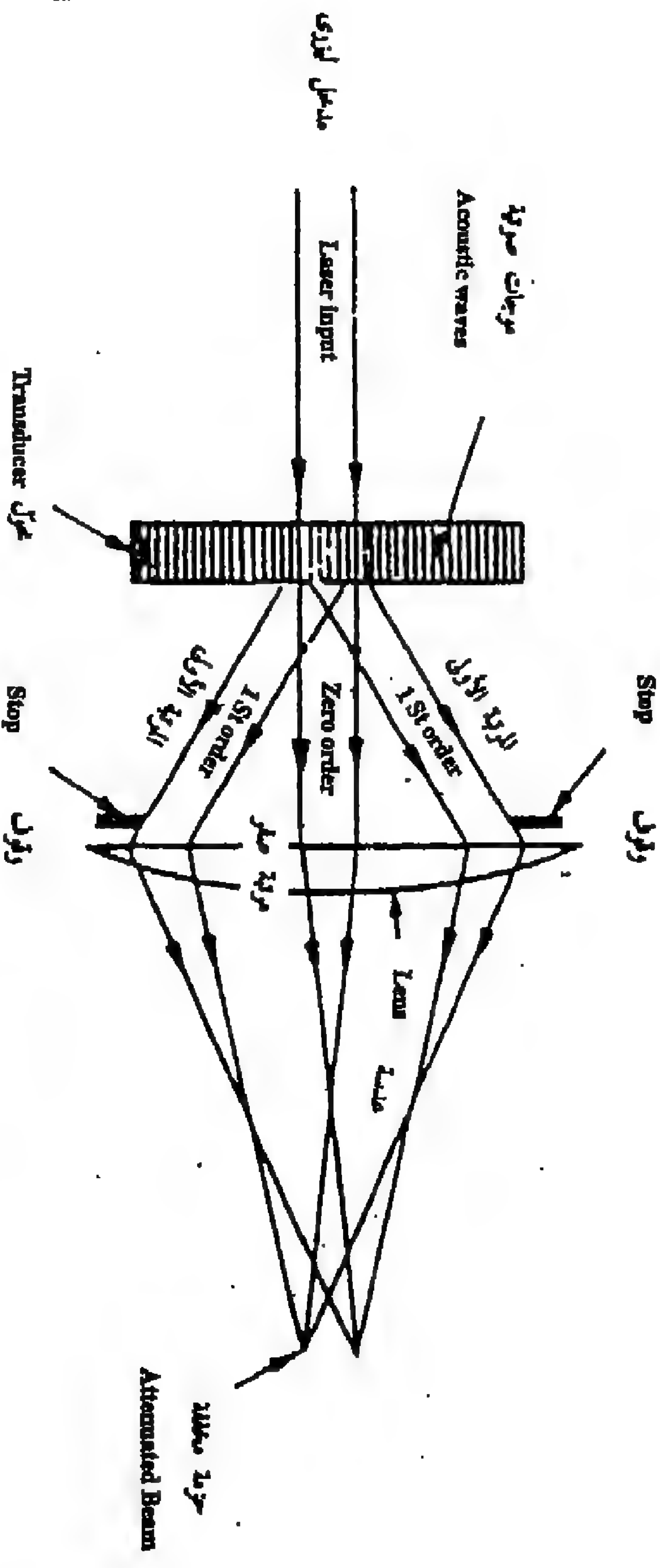
و

Potassium Dihydrogen Phosphate (KDP)

فى عمليات التضمين الليزرى .

### (ج) التضمين الصوتى : Acoustic Modulation

اكتشف العلماء أن معامل انكسار بعض المواد يتغير إذا تعرضت إلى موجات صوتية تضاغية . Compression Acoustic Waves . فى هذه الحالة ، تسلك المادة سلوكية المحزوز الحيوى (Diffraction Grating) خاصة عندما يكون الطول الموجى للموجات الصوتية مقارباً للطول الموجى للضوء ، فإذا سقطت حزمة ضوئية ليزرية على المادة ، فإنها تنشط ويتكون عدد من الأهداب الضوئية . وتعرف هذه الظاهرة للمادة وهى فى الحالة السائلية بظاهرة ديباي - سيرز (Debye-Sears) أما فى حالة المواد الصلبة فتدعى ظاهرة رامان - ناث (Raman - Nath) . وتستغل هذه الظاهرة فى أغراض التضمين الليزرى ، وكما هو موضح بالشكل ٤ ، عند مرور الأشعة الليزرية موازية للسطح الحاوى على الهدب الصوتية (Acoustic Friuges) فينتج عن ذلك ، حزم ضوئية ذات مرتبة ( زائد واحد وناقص واحد ) بالإضافة للحزم الضوئية المذكورة ، وسيكون هناك ضوء عابر مباشرة ذات المرتبة الصفرية ، بواسطة العدسة الثانية ، يحدث اندماج (Recombination) لحزمة الضوء ذات المرتبة الأولى الموهنة مع الحزمة الضوئية المباشرة غير المتأثرة ، ذات المرتبة الصفرية ، وينتج عن ذلك جبهة موجية مستوية "Plane Wave Front" ذات كثافة متباينة نسبة إلى الضوء العابر خلال المحزوز الصوتى . ويمكن تغير زاوية الحيود الضوئى بتغيير التردد الصوتى الذى يطرأ على الحزم الضوئية ذات المرتبة الأولى والتي تكون مسئولة عن تضمين خارج الليزر .



التقليل الصوتي بخصائص المرتبة الأولى للصوتية الموزعة  
 Attenuation of first order diffracted beams

التضمين الترددى : يمكن إجراء عمليات التضمين الترددى لأشعة الليزر عن طريق تغير طول الحيز الفعال لمرنانة الليزر ، ونتيجة لذلك يتغير تردد الأنماط الرنينية له ، ويمكن تحقيق ذلك بواسطة بلورة ييزو الكهربائية "Piezo electric Crystal" ، حيث تتمدد وتتقلص على امتداد أبعادها فى اتجاه عمودى على الفولتية المسلطة . وعن طريق التغير المستمر لمقدار الفولتية يحدث اهتزازات على سطح البلورة . هذه الاهتزازات تؤدى إلى تغير طول الحيز للمرنانة الليزرية وذلك باستعمال مرآة مثبتة على سطح البلورة . حيث يمكن الاستفادة من حركة المرآة فى تضمين الحيز الرنان لمولد الليزر . تعتبر هذه الطريقة مناسبة بمعدل تضمينى ترددى مقداره 1 MHz ( واحد ميگاهرتز ) ، عند هذا المقدار الترددى ، تصبح كتلة المرآة عائقاً رئيسياً فى عمل جهاز التضمين ، وبناء على ذلك ، لا تصلح هذه الطريقة عند الترددات العالية .

ومن إحدى الطرق الشائعة والمستخدمة فى التضمين الليزرى الترددى هى طريقة التضمين الصوتى بزاوية براج (Bragg Angle Acoustic Modulation) ، فى هذه الطريقة يسمح بسقوط الحزمة الليزرية على محزوز بزاوية ما أقل من ٩٠ درجة ( كما هو موضح بالشكل ٥ ) ، يلاحظ أن الزاوية التى تميل بها هذه الأشعة تعتمد على الأطوال الموجية الصوتية وأيضاً تعتمد على الخصائص الفيزيائية لبلورة ييزو الكهربائية والبصرية وعند زاوية براج الحرجة التى يسقط بها الشعاع الليزرى على البلورة ، يحدث انعكاس للضوء يسمى

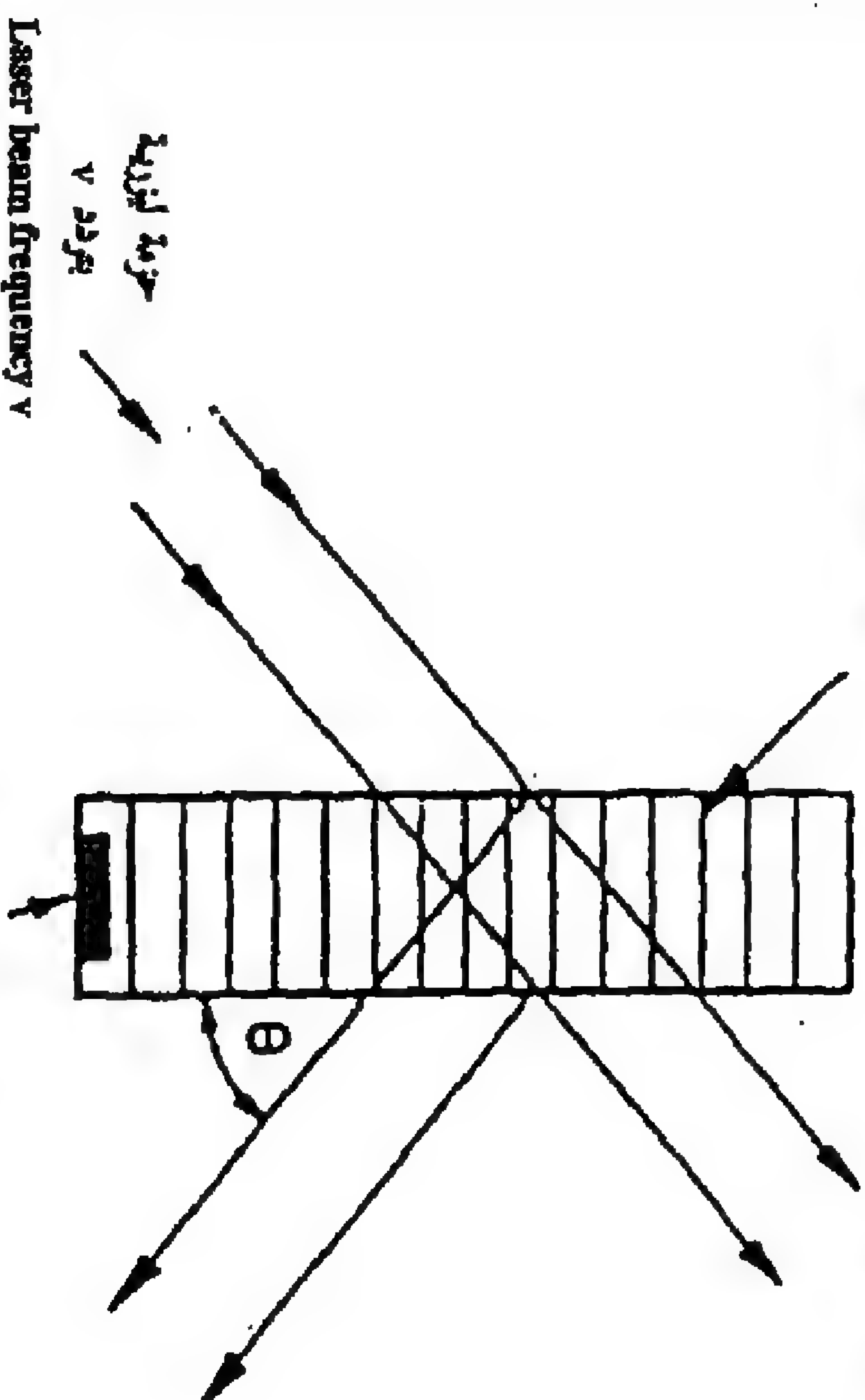


موجة صوتية

Acoustic wavefront

موجة مائدة بتردد  $V$

Directly transmitted beam of frequency  $V$



بلورة كهر - الكهرنك

Piezo - electric crystal

لصق صوتي بتردد براك

Acoustic modulation using reflection at the Bragg angle

بانعكاس براج . عندئذٍ ، سوف تعمل سطوح الهدب (Fringe Plane) مقام المرايا العاكسة جزئياً ، وبالتالي تنعكس نسبة كبيرة من الضوء الساقط ، وتندمج هذه الموجات المنعكسة والموجات المتنقلة خلال البلورة لينتج عنهما ما يسمى بالحاملة أو (Carrier) ، هذه الموجات الحاملة ذو نطاق ترددي جانبي منفرد (Single Side Band) .

### التضمين بالشفرة النبضية (Pulse Code Modulation):

وترتكز نظرية التضمين بالشفرة النبضية على تحرير رتل من النبضات المنتظمة التباعد ، وذلك عن طريق ترحيل أو إلغاء نبضات معينة ، وتعتبر هذه المنظومة ثنائية الترميز (Binary) . وتتم عملية الكشف والاستعادة الكودية للشفرة بواسطة جهاز الاستقبال في هذه المنظومة ، والدور الرئيسى للمكشاف هو تحديد وجود النبض الضوئى من عدمه ، وتعتبر هذه الخاصية على درجة كبيرة من الأهمية عند نقل المعلومات ، خاصة عندما تكون ظروف انتقال هذه المعلومات من خلال وسط ناقل غير جيد . ويمكن الحصول على النبضات بسهولة باستعمال مولد ليزرى ، وذلك عند تضمين معامل كسب المرئاة بتردد يماثل التباعد الترددي للأنماط المحورية (Axial Modes) ، ويتم ذلك بإضافة بلورة (KDP) (الذى سبق الإشارة إليها) داخل مرئاة الليزر ، وتتألف خرجة الليزر فى هذه الحالة من رتل من النبضات ذات تباعد زمنى متساو .

ويعتمد التباعد الترددي بين النبضات على عدد الأنماط المحورية ،  
والأسلوب المتبع في تحقيق التضمين بالشفرة النبضة يمكن تلخيصه  
كما يلي :

عندما يفوق كسب الليزر على ما فقده ، يبدأ النمط المحوري  
الأقرب إلى مركز منحنى الكسب بالتذبذب ، وإذا كان الليزر مضمنا  
داخليا عند تردد مماثل تباعد النمط المحوري ، عندئذٍ ، سوف تتولد  
على جانبي النمط المحوري المركزي ، ترددات محاذية إلى الأنماط  
المحورية ، وعندما تتذبذب التوافقيات والأنماط المحورية بطور موجي  
متساو ، فإن الأنماط المحورية المتقاربة تبدأ بالتذبذب بنفس الطور مع  
النمط المركزي حالما يكون الكسب كافياً ، وتكرر هذه العملية مع  
كل الأنماط المحورية ، في هذه الحالة ، يمكن اعتبار الليزر مشعاً لأطوال  
موجية متوافقة مع كل نمط محوري ، ومن الممكن لهذه الموجات أن  
تتداخل عند ارتحائها من الليزر ، وتكون النتيجة الحصول على النبضات  
التي تمثل شكل التداخل الضوئي المرتحل *Propagating Interference*  
"Pattern" لكافة الأنماط المحورية .

وفيما يلي نستعرض منظومة عملية لتحقيق التضمين بالشفرة  
النبضية ، في هذه المنظومة يستعمل مولد ليزر الهيليوم + النيون المضمن  
عند تردد موجي مقداره ٢٢٤ ميغاهرتز (  $244 \times 10^6$  هرتز ) ،  
هذا المولد يطلق نبضة كل ٤,٥ ثانية ، وعرض النبضة الضوئية يساوي  
٠,٦ نانوثانية (  $0,6 \times 10^{-9}$  ثانية ) . ويرتبط هذا الرتل بمنظومة

كهروبصرية والتي تعمل على تضمين وتخوير هذه النبضات .  
ونظراً إلى تباعد النبضات مع بعضها بالمقارنة بعرض النبضة ،  
فسيكون بالإمكان حدوث مساهمة زمنية (Time Multiplex)  
بما يقارب أربعة مجموعات من النبضات ، عندئذ يمكن الحصول  
على تساهم زمني لأربعة قنوات دون حدوث تداخل ما بين القنوات  
المتجاورة ، وفي منظومة النقل ذات القناتين يتم شطر خرج الليزر  
بمضمنين مختلفين ، كل مضمن يعمل كبوابة أساس تركيب كل  
منهما هو بلورات تنثالات الليثيوم (Lithium Tantalate) والتي يدخل  
الليزر إليها بزاوية مقدارها ٤٥ درجة بالنسبة إلى المحور البصري  
للبلورة وبالتالي تنتقل الموجات في اتجاه عمودي على المحور البصري ،  
عند تنبيض البلورة ، يمكن تدوير الحزمة الضوئية بزاوية مقدارها  
٩٠ درجة ، وفي حالة غياب النبض الكهربائي المسلط على البلورة ،  
فإن المحلل الضوئي سوف يحجب الحزمة الضوئية . ويتم تحقيق التساهم  
الزمني للقناتين على مرحلتين ، أولهما تبدأ بتدوير الاستقطاب لأحد  
القناتين بزاوية ٩٠ درجة بالنسبة إلى الأولى وثانيهما هو القيام بتأخير  
أحد الحزم الضوئية نسبة إلى الحزمة الضوئية الأخرى ، ثم تحرر كلا  
الحزمتين على بلورة استقطابية ، بحيث يتألف الخرج الليزري من  
مجموعتين من النبضات المتساهمة زمنياً ، وكل مجموعة منها  
مستقطب في اتجاه عمودي ، وأخيراً عند تسليط نبضات توقيتية  
إلى مقلاد استقطابي ( مفتاح استقطابي ) ، يتم تدوير مستوى  
الاستقطاب بين كل نبض وآخر قبل النقل ، بحيث يتم إرسال حزمة



ضوئية مستقطبة وخطية .

بعد الانتقال إلى طرف الاستقبال بواسطة وسيط مناسب مثل  
( الفضاء أو الألياف البصرية ) تجرى عملية الكشف وفك الشفرة  
التساهمية ، وتتحقق عملية الكشف هذه ، بتسليط نفس النبضات  
التوقيتية (Clock Pulses) إلى مفتاح استقطابي ، يفصل بين النبضات  
المختلفة عن بعضها بواسطة مرشح استقطابي ، وعادة يستخدم ثنائي  
ضوئي انهماري (Avalanch Diode) .

## الفصل الخامس

### أشعة الليزر والتصوير المجسم

تتميز الموجات الضوئية الصادرة من الشمس أو المصابيح الضوئية التقليدية بعدة ظواهر هامة مثل : الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب الضوئي والفضل الكبير في تفسير هذه الظواهر الضوئية ، يعود إلى العالم الفيزيائي الأسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل ، الذي وضع فروض النظرية الكهرومغناطيسية في منتصف القرن الثامن عشر ، ونحن نعرف الآن ، أن الضوء المرئي وغير المرئي هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية مثل موجات الراديو لكنها بأطوال موجبة قصيرة . فالضوء المرئي يكون في المدى الطيفي بين ٤٠٠٠-٧٠٠٠ أنجستروم ( الأنجستروم =  $10^{-10}$  متر ) ، أما الضوء غير المرئي مثل الأشعة تحت الحمراء فيزيد الطول الموجي لها عن ٧٠٠٠ أنجستروم ، ويصل إلى نصفه من الميكرومترات ، ويكون الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية في المدى بين ٢٠٠٠-٤٠٠٠ أنجستروم .

وتتميز هذه الموجات الكهرومغناطيسية بالتردد والسعة والطور الموجي ، حيث وجد أن التردد الموجي يتناسب عكسياً مع الطول

الموجى ، ويتناسب طرديا مع الطاقة الموجبة وتعتمد عمليات التصوير ،  
بصفة عامة على ظاهرتى التداخل والحيود الضوئى .

### معنى التصوير المجسم :

والتصوير المجسم هو عبارة عن طريقة لتخزين صور الأشكال  
المختلفة على الفيلم ، ولكن بطريقة تختلف عن الطرق التقليدية  
باستخدام التصوير الفوتوجرافى ، وتعتمد هذه الطريقة أساسا على تغيير  
السعة والطور الموجيين . ومن المعروف أنه فى عمليات التصوير  
الفوتوجرافى ، يستعان بمصدر للضوء الأبيض ، عادة تكون أشعته  
غير متوافقة Incoherent ويمتد طيفه الموجى من الأشعة فوق البنفسجية  
وحتى مدى الأشعة تحت الحمراء ، ولذلك لا يمكن تسجيل أبعاد  
العمق (التجسيم) للشيء المنظور ، أما فى طريقة التصوير الليزرى  
المجسم Holography فإن تفاصيل المنظور يتم إضاءتها بالضوء  
الليزرى ، حيث يتم احتواء تفاصيل التعرجات النسبية للجسم المنظور ،  
وأعماق أجزائه . والحقيقة فى ذلك ، أن العين ترى الضوء المنعكس  
إليها من الأجسام ، وهذا يعنى من وجهة نظر الفيزياء ، أنه عند سقوط  
الأشعة الضوئية على الجسم ، تتولد ما يسمى « بجهة الموجة » من  
الجسم . وتنتشر جهة الموجة تلك فى عكس اتجاه سقوط الأشعة  
الضوئية وجهة الموجة تحتوى على كافة المعلومات والتفاصيل الخاصة  
بالجسم ذاته ، ويمكن للمخ ترجمة هذه الشفرة الضوئية عندما تصل

جبهة الموجة إلى العين ، وبالتالي نستطيع أن نرى الأجسام .

### تسجيل الموجة المنعكسة :

ولكى تتضح عملية التصوير ، نفرض أنه بالإمكان تسجيل جبهة الموجة المنعكسة من الجسم ، كما هي بالضبط على مستوى سطحى موضوع أمامها ، فى هذه الحالة تتكون خطوط عريضة من الشرائح الضوئية فى الوضع الأفقى أمام العين ، بعد فترة وجيزة ، تتولد جبهة موجة أخرى من هذا السطح ، والتي عندما تصل إلى العين ، ترى صورة مسطحة لنفس المشهد الحقيقى ، هذه الصورة تكون نتيجة توليد لجبهة الموجة الأصلية المنعكسة من الجسم .

### الخدع التصويرية :

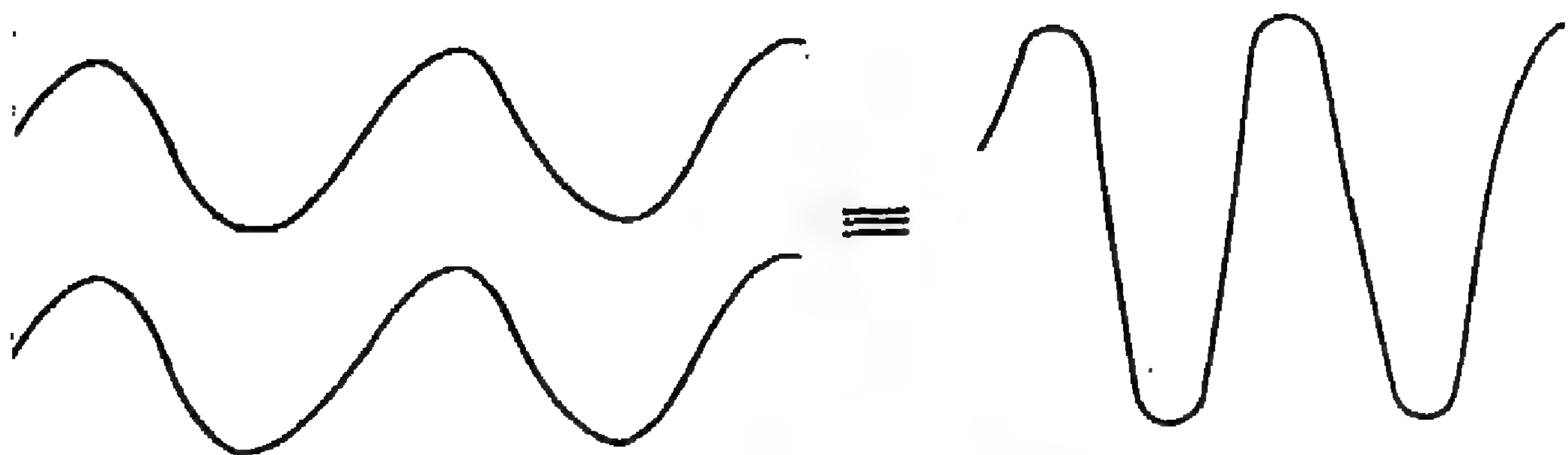
والسؤال الذى نطرحه ، هل هذا الأسلوب هو ذاته الذى تتعامل به كاميرات التصوير الفوتوجرافى ؟ على أساس أن الكاميرا تستقبل جبهة الموجة المنعكسة من الجسم على فيلم حساس ، والإجابة بالطبع لا .. !! ، حيث أن جبهة الموجة تتغير عندما تتغير السعة الموجية والطور الموجى ، والفيلم الحساس ( أو أى أجهزة رصد ضوئى ) يتأثر بتغير السعة الموجية فقط ( أى يتأثر بشدة الاستضاءة ) ، وليس بالتغير الطورى للموجة ، وعلى هذا الأساس ، فإن العين الواحدة تتأثر فقط بتغير السعة الموجية ، مثل الكاميرا تمامًا ، ولكن يوجد اختلاف زمنى بين العينين بحيث يمكن للمخ مقارنة الصورة المرسلة إليه من كل عين



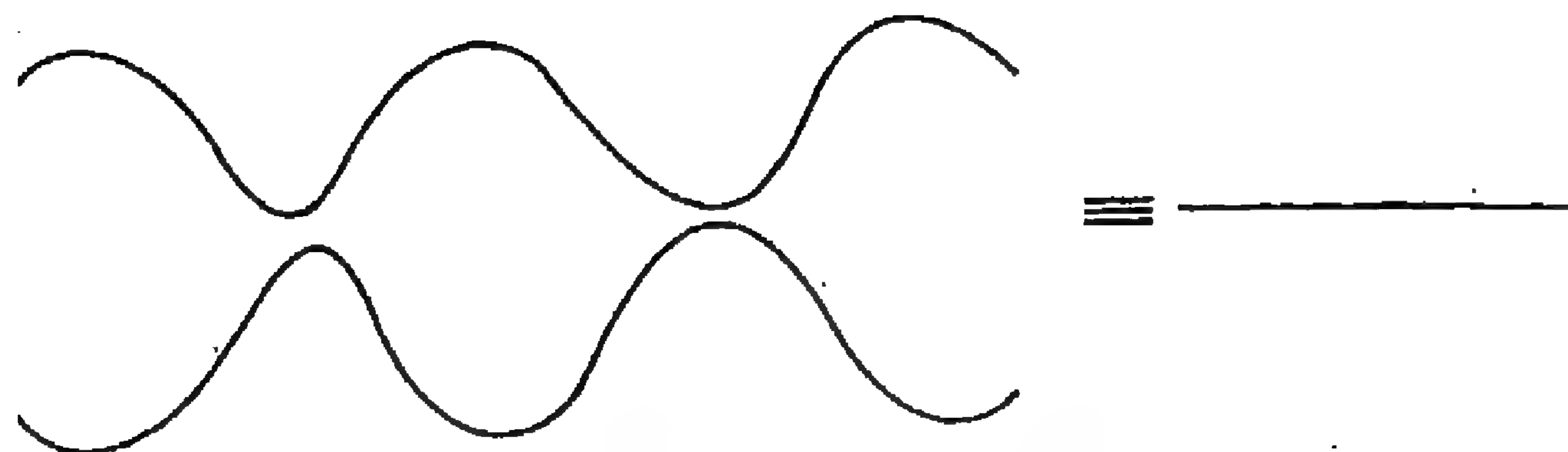
على حدة وترجمتها إلى صورة في أبعادها الثلاثية ، وبهذه المناسبة ، فقد تم استخدام هذا المبدأ في عمل الخدع التصويرية في الأبعاد الثلاثية ، وتم ذلك باستخدام كاميرتين مختلفتين لالتقاط الصور لجسم ما بزوايا مختلفة ، على أساس أن تنظر كل عين على حدة إلى أحد هذه الصور ، والعين الأخرى تنظر إلى الصورة الأخرى التي التقطت بالكاميرا الأخرى ، وفي نفس اللحظة . عندئذ ترى العين الصورة بعد ترجمتها عن طريق المخ في أبعادها الثلاثية ، كما لو أنها ترى المشهد الحقيقي ، وهذا ما يفعله تكنيك التصوير المجسم عن طريق الهولوجرام وتعني هنا كلمة هولو أى التفاصيل الكاملة للجسم Holo = Entire .

### عملية التصوير المجسم :

ولإجراء عملية التصوير المجسم ، نحتاج إلى جبهتين موجيتين للضوء ، يمكن أن يحدث بينهما تداخل ضوئي ، وفي هذا الشأن يمكن الحصول على هاتين الموجتين ، أحدهما هي جزء من الأشعة الساقطة ، وتسمى جبهة الموجة العينية أو شعاع المرجع Reference Beam والأخرى هي جبهة الموجة المنعكسة من الجسم وتسمى جبهة الموجة الشيئية أو الشعاع الشيئي Objective Beam وعندما تسقط هاتين الموجتين على لوحة إهولوجرام ، فإنه يحدث ما يسمى بالتداخل الضوئي بين الموجتين ( انظر الشكل ١ ) ، ويتم تسجيل هذب الامتضاءات التي تتكون من أضواء مضيئة وأخرى مظلمة ، وطبقا لنظرية التداخل الضوئي ، فإن شدة الامتضاء تزداد ، كلما تقابلت



تداخل موجی بناء



تداخل موجی إفساد

( الشكل رقم ۱ ) بین کیفیت التداخل الضوئی

الموجتان في نفس الطور الموجي ويسمى التداخل بناء . أما إذا تقابلت الموجتين بطور موجي مختلف بينهما بمقدار ٩٠ درجة فهذا يعنى أن تنعدم الإضاءة ، ويحدث ما يسمى بالتداخل الهدام ، حيث تفنى الموجة وتكون منطقة إظلام .

والتصوير المجسم أو الهولوجرام ذاته هو نموذج لمساحات الإضاءة والإظلام ، التى تمثل نموذجا للتداخل الضوئى الناتج عن تقابل جبهتين موجيتين .

من هنا يظهر لنا أهمية الدور الذى يتمثل فى تغيير الطور الموجي للأشعة ، ومن أجل ذلك ، فإن الشرط الأساسى لعمل التصوير المجسم هو أن يكون الضوء متوافقا Coherent فى الطور الموجي لكل من الأشعة المرجعية والشيئية كل على حدة ؛ وهذا بالطبع ما توفره أشعة الليزر بالضبط ، مع الأخذ فى الاعتبار أنه يجب أن تنتقل الشعاعات لمسافات يكون الفرق بين مسارها فى حدود الطول الموجي التوافقى (أى الطول الموجي الذى تظل فيه الموجات الضوئية متوافقة فيما بينها) "Coherence of light" .

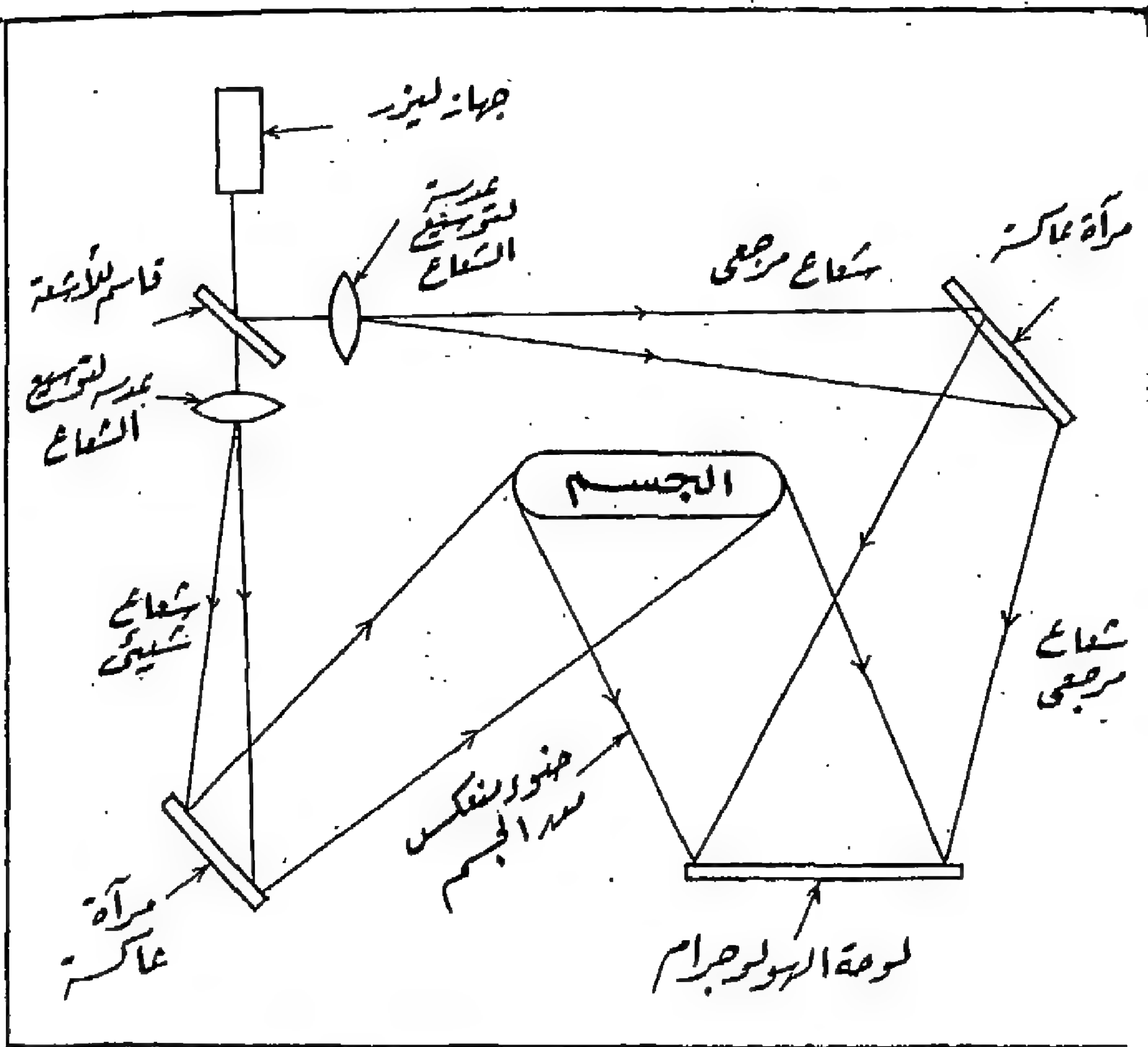
### الليزر الغازى :

وعادة يستخدم فى عمليات التصوير المجسم ، جهاز الليزر الغازى الذى يحتوى على خليط من غاز الهيليوم والنيون ، ويتميز هذا الجهاز بأشعته ذات اللون الأحمر لطول موجي مستمر مقداره ٦٣٢٨ أنجستروم وينقسم شعاع الليزر بواسطة مرآة خاصة تسمى « قاسم

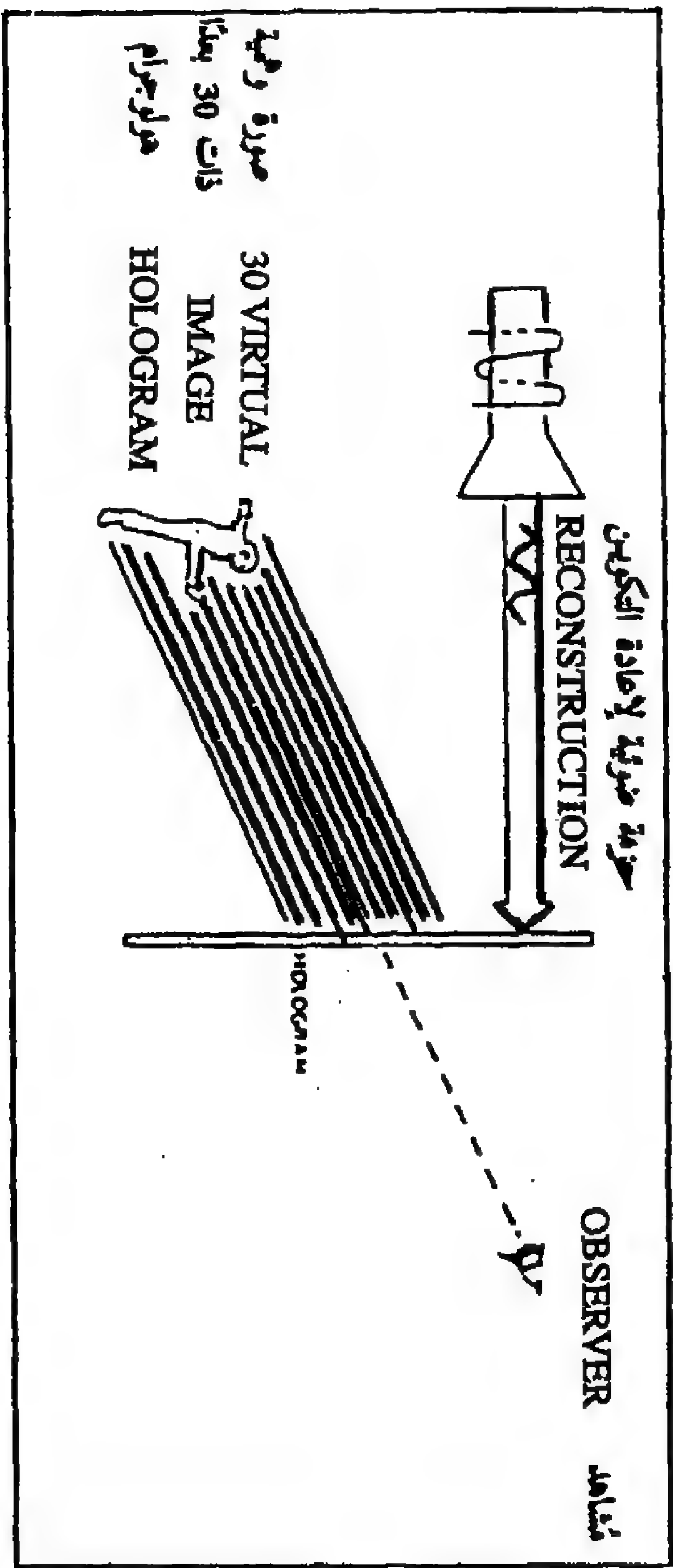
الأشعة « "Beam Splitter" إلى شعاعين ، أحدهما هو الشعاع المنعكس من سطح المرآة ويسمى بالشعاع المرجعى "Reference Beam" والآخر هو الشعاع الخارج من المرآة ويسمى بالشعاع الشئى Objective Beam" ( كما هو موضح بالشكل ٢ ) . ويستخدم عدستان بصريتان لتكبير قطر كل من الشعاعين ، حيث ينعكس الشعاع المرجعى ليسقط على لوحة الهولوجرام ، بينما يسقط الشعاع الشئى على الجسم تحت التصوير ، الذى بدوره يولد جبهة للموجة ، تنعكس فى اتجاه مضاد لاتجاه سقوط الأشعة الشئية ، ويتم استقبالها على لوحة الهولوجرام . ويحدث تداخل ضوئى بين جبهة الموجة الشئية والأشعة المرجعية ، ويكون التداخل بناء ، كلما كان مسار الأشعة المرجعية تقريبا مساويا لمسار الأشعة الشئية . وتتكون بذلك صورة للجسم فى أبعادها الثلاثية ، وفى هذا التكنيك يستخدم نوع خاص من الأفلام تكون أكثر حساسية من الأفلام الفوتوغرافية خاصة بالنسبة لامتصاص الأشعة الضوئية فى المدى الطيفى للون الأحمر .

ويمكن استعادة تركيب الصورة المجسمة ، عند إضاءة اللوح الهولوجرامى بحزمة ضوئية ذات تردد وطول موجى مساويا فى ذلك للحزمة الضوئية المرجعية لأشعة الليزر التى استخدمت فى عملية تسجيل الصورة ( انظر الشكل ٣ ) . وعند مرور أشعة الليزر من خلال اللوح الهولوجرامى ( المسجل ) سيحدث تداخلا مشابها إلى ذلك التداخل الذى حدث أثناء عملية التسجيل ، وينتج عن ذلك





الشكل رقم ٢ : رسم توضيحي لإجراء التصوير  
 الجسم على لوحة الهولوجرام . والفكرة  
 الأساسية تعتمد على التداخل الضوئي بين أشعة  
 المرجع والأشعة الشيئية المنعكسة من الجسم .



الشكل (٣)

صورة وهمية "Virtual Image" مجسمة وتبدو بموقعها خلف اللوحة نسبة إلى المشاهد ، في الحقيقة ، سوف تتكون صورة حقيقية أمام اللوح الهولوجرامى ، أى عند جانب المشاهد ، ولكنها غير مرئية لأنها صورة متركزة أو متجمعة "Focused Image" ويمكن مشاهدة الأجزاء المختلفة للصورة عند تحريك الشاشة إلى الأمام والخلف لجلبها إلى منطقة البؤرة "Focal Area".

### قصور :

وتعانى الطريقة التى سردناها من قصور رئيسى واحد ، وهو أنها ذات لون واحد ، لأن المصدر الضوئى المستخدم هو الليزر وهو أحادى التردد وأحادى اللون ، وحاليا أصبح بالإمكان الاستعانة بثلاثة حزم ضوئية مرجعية ذات ألوان مختلفة عن بعضها ، وهى الألوان الأساسية : الأحمر والأخضر والأزرق والتى تدخل فى عملية التلوين ، وبالسيطرة على شدة الإضاءة لهذه الحزم الضوئية يمكن الحصول على ضوء ملون مجسم ومماثل بكل تفاصيله للمشهد الأصيل .

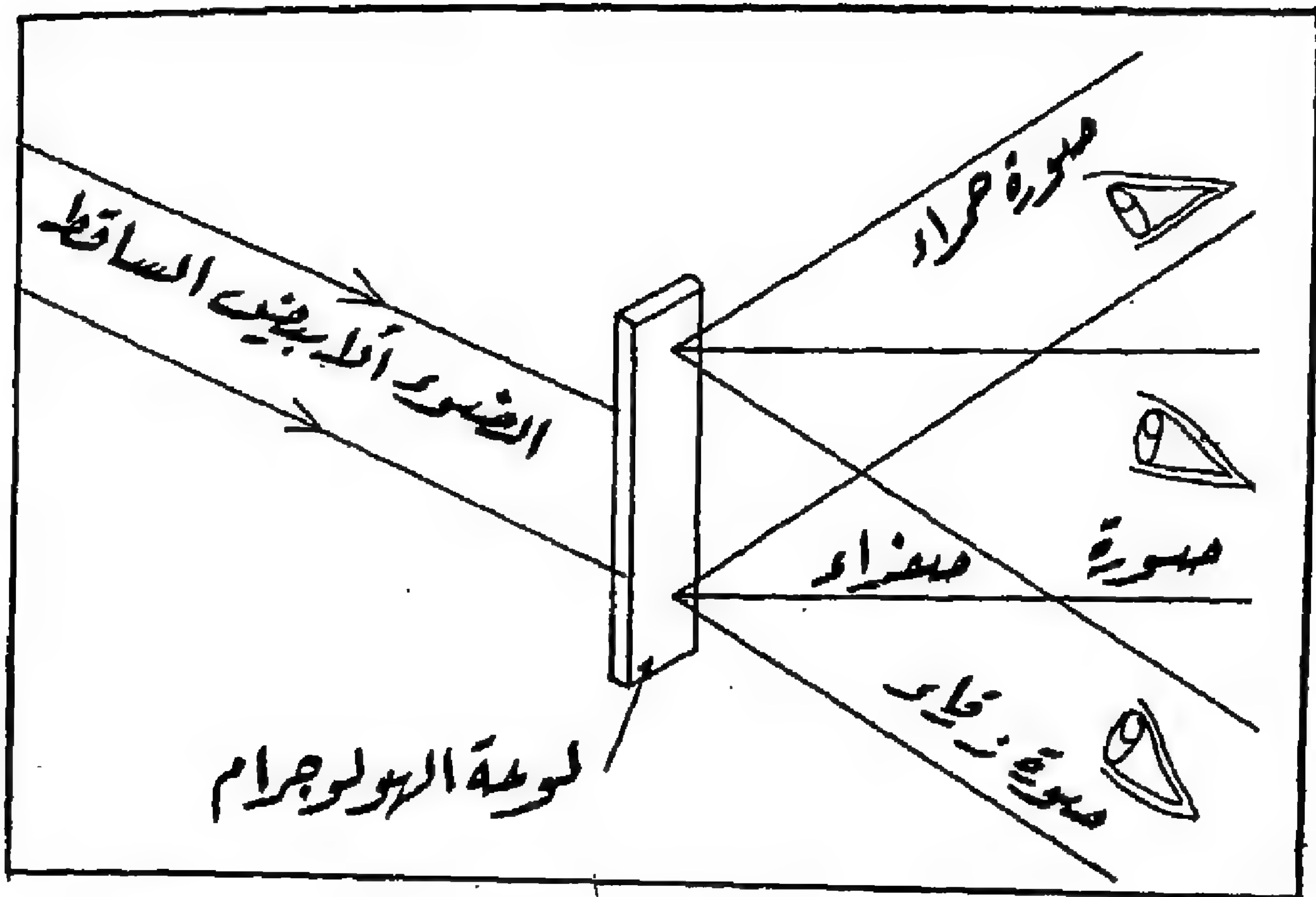
والجدير بالذكر ، أن جودة الصورة المجسمة المنتجة بهذه الطريقة ، تتأثر من قبل جسيمات الغبار المترسب على العدسات أو فى الهواء أو وجود بعض الشوائب فى الزجاج المستعمل ، كل هذه العوامل ، تسبب انحرافا أو انحناء للحزمة الضوئية لليزر ، ونظرا لأن ضوء الليزر يكون متوافقا موجيا ، فإن أشكالا غريبة قد تنتج عن ذلك ، وتظهر على الصورة على هيئة بقع مضيئة Speckle light

ويمكن معالجة ذلك لحد ما باستعمال الزجاج الصقيل النقى والتنظيف الدقيق للعدسات ، كما يوجد طرق بصرية أخرى لمنع ظهور هذه البقع الضوئية ، كما أن هناك قيودا هامة للحصول على الألواح الهولوجرامية أهمها : حجم الجسم ، فكما ازداد حجم الجسم صعب إجراء التصوير لأنه من الصعب تصنيع لوحة كبيرة من الهولوجرام ، هذا بالإضافة إلى أن الجسم الكبير يحتاج إلى إضاءة خاصة ، ويجب أن تكون الأشعة الشئية متوافقة جميعها في الطور ، وما زالت الأبحاث جارية للتغلب على هذه المشاكل .

### مميزات التصوير المجسم :

ومن مميزات التصوير المجسم أنه يكفي لإضاءة جزء صغير من لوحة الهولوجرام لكي ترى صورة الجسم بوضوح ، ونظرا لأن جبهة الموجة المسجلة على سطح اللوحة الداخلى ، إذا فإن التداخل الضوئى لها يكون مكررا عدة مرات ، وبالتالي يمكن رؤية الصورة من زوايا إبصار مختلفة ، وأيضا يمكن تسجيل أكثر من صورة على لوحة هولوجرامية واحدة ، وذلك باستخدام أكثر من شعاع مرجعى ، مع ملاحظة أن العين ترى صورة واحدة لكل زاوية إبصار ، أما إذا تم إضاءة اللوحة (المسجلة) الهولوجرامية بالضوء الأبيض ، فإنه طبقا لنظرية الحيود الضوئى تنعكس الأشعة بأطوال موجبة تعتمد على المادة التى يتكون منها سطح اللوحة ، وبالتالي يمكن للعين أن ترى صورة للجسم بألوان مختلفة طبقا لزاوية الإبصار ، ( كما هو موضح بالشكل ٤ ) .





الشكل رقم ٤ : يوضح كيفية تحليل الضوء المنعكس من لوحة الهولوجرام مع  
تغير زاوية الإبصار

ويستعان حالياً بالتصوير الليزري المجسم في كافة المجالات ، في الصناعة يستخدم في مجال تصميم نماذج الطائرات والصواريخ والأقمار الصناعية والدوائر الالكترونية ، وفي مجال الإنشاءات يستخدم في عمل نماذج العقارات ، أما في المجال الطبي ، فيستخدم في تصوير الأجزاء الدقيقة بالجسم ، مثل المخ .

وأيضاً في مجال صناعة السينما المجسمة ، وفي تحديد الفرق الصغير في حجم الأجسام المشابهة وتدقيقها ، حيث أمكن تحديد فروقات في أبعاد صغيرة مقدارها «  $300 \times 10^{-6}$  ملليمتر » وقد دخل التصوير المجسم في منظومات الاحتراس (Security System) ، وحالياً تمنح البنوك عملاءها تذكراً الأرصادة بتواريخ أصحابها المجسمة والتي لا يمكن تزويرها بسبب دقة الطريقة الليزرية .



## الفصل السادس

### الحرب الليزرية الأولى

استخدمت أشعة الليزر لأول مرة في التاريخ في حرب تحرير الكويت ، فقد ترتب على غزو القوات العراقية العربية واحتلالها دولة الكويت في ٢ أغسطس ١٩٩٠ ، إلى العديد من الأضرار والمآسى الإنسانية ، صاحبها رد فعل حاسم وسريع على المستوى العربي والعالمي ، وذلك لاستنكار العدوان والمطالبة بالانسحاب القوي وعودة الشرعية لدولة الكويت ، إلا أن الصلف والعناد العراقي ورفضه لجميع الأعراف والقوانين الدولية محتمياً بذلك بقواته ومعداته العسكرية ، أدى إلى حشد القوات الأمريكية ومعها اثنان وثلاثون من دول الحلفاء في مواجهة القوات العراقية المعتدية لردع عدوانهم الغاشم والقضاء على ترسانتهم العسكرية ، التي تهدد أمن العديد من الدول المجاورة .

ومهما كانت الدوافع بين كلا الطرفين لاندلاع هذه الحرب ، فإن تكنولوجيا الحرب الحديثة ، كان لها الفضل الكبير في حسم المعركة لصالح الحلفاء ، مما أدى إلى تحرير الكويت وفرض نظام أمنى جديد في المنطقة .



وبناء على التقارير العسكرية التي صدرت خلال المعارك ، فإن حرب تحرير الكويت لم تكن سهلة على الإطلاق ، حيث كانت مساحتها غير محددة بشكل دقيق ، وبالتالي تغيرت معالم المعارك التي دارت من لحظة إلى أخرى ، وكان كل طرف يحاول معرفة وضع القوى المتحاربة بالضبط ، والمقصود بكلمة « وضع » ليس فقط تحديد موقع القوات على الأرض ؛ بل أيضا تحديد وسائل القوة التي تمتلكها تلك القوات وموقفها الدفاعي والهجومى ، وقد أثبتت بحرب الخليج أن عملية جمع المعلومات على درجة كبيرة من الأهمية ، وأصبحت هذه العملية متنوعة ولا تتمثل فقط من المراقبين من البشر بل فى استخدام أجهزة الكشف من كل نوع مثل الرادارات وأجهزة الحرب الألكترونية ، وآلات التصوير المحمولة على عربات خاصة وأيضا بواسطة الأقمار الصناعية .

وعلى ذلك ، فالحرب الحديثة ليست بالضرورة ما تعتمد عليه من أساليب الدمار الشامل مثل الأسلحة النووية والكيميائية والبيولوجية ، بل هى الحرب التى تعتمد أساساً على محدودية المكان .

ومن الملاحظ أنه خلال الحرب العالمية الثانية ، استخدمت الدول المشتركة فى المعارك العديد من الأسلحة والقذائف بجميع أنواع القوات المسلحة البرية والجوية والبحرية وأيضا وسائل الدفاع الجوى الخاصة بها ، مما زاد من الإصابة والطاقة التدميرية .

كل ذلك جعل ليس بالضرورى الاعتماد على القوات البرية التى تتسلح أساساً على شجاعة الجندى وما يملكه من سلاح ، بل أن دور القوات الجوية والصاروخية القصيرة والبعيدة المدى شديد الأثر فى « تقليص » حشد هذه القوات البرية ، وأصبحت السيطرة الميدانية الجوية على هذه القوات ، قادرة على الحد من تقدمها واحتلالها مواقع جديدة .

وتكنولوجيا الحرب الحديثة ، تعتمد أساساً على التقدم العلمى المتمثل فى تسخير الفهم الدقيق للظواهر الفيزيائية للمواد مما أدى إلى اكتشاف الخصائص المميزة للضوء وابتكار أجهزة تتولد عنها أشعة مميزة سميت « بأشعة الليزر » وأيضاً ابتكار دوائر كهربائية دقيقة وفهم خصائصها الكهربائية والضوئية ( الكهروضوئية ) ، بحيث أمكن استقبال تلك الدوائر الألكترونية للنبضات الضوئية الليزرية وترجمتها إلى شفرات فنية ؛ وقد احتل الليزر والألكترونيات الدقيقة مكانة بارزة لدى قادة الجيوش خاصة المسئولين عن قطاع التسليح فى العديد من الدول .

### أنواع أسلحة الليزر :

وأسلحة الليزر مثل أى سلاح عامل فى القوات المسلحة لها

نوعان :

١ - سلاح الليزر التكتيكى : وهو مصمم على إعطاء أكبر قدر

من الامتيازات أثناء المعارك .

٢ - سلاح الليزر الاستراتيجى : يستخدم قبل أن تبدأ المعارك ، وفى الحقيقة الهدف منه التأثير على العدو بإقناعه بعدم الجدوى فى استمرار الحرب نظراً للخسائر التى قد يصاب بها .

والجدير بالذكر أن الولايات المتحدة الأمريكية قد اعتمدت على سلاح الليزر الاستراتيجى أثناء الحرب الباردة فى تأكيد تفوقها وريادتها فى مجالات العلم والتكنولوجيا العالية على القوى العالمية الأخرى ، على سبيل المثال ارتكزت خطة الحرب الفضائية على إمكانية زرع قاعدة الليزر فى الفضاء ، بحيث يتكون شبكة من الأشعة الليزرية يمكنها التصدى وتدمير الصواريخ عابرة القارات ذات الرؤوس النووية وهى فى السماء .

ومنذ عام ١٩٧٠ ، تم عمل برامج لتحديث أفرع القوات المسلحة فى العديد من الجيوش فى الدول الكبرى بأسلحة الليزر التكتيكية ، وهناك أمران يجب تحقيقهما عند استعمال أسلحة الليزر التكتيكية بغية ضمان التصميم ، أولهما دقة تسديد حزمة ضيقة كحزمة الليزر ، والمسألة الثانية هى تحقيق التركيز أو اللم المؤثر للحزمة الضوئية عبر المدى البعيد ، وقد أمكن تصنيع بندقية ليزرية من مولد ليزر النيوديموم الزجاجى ، لقد استعملت هذه البندقية فى المراحل الأولى لأغراض التدريب والمناورة ، وقد تم إجراء بعض التعديلات الفنية لاستخدام هذه البندقية فى التسديد ، فمقدور هذه البندقية عند استعمال الضوء

الليزرى أن يفقد الجندى القدرة على الأبصار ، مما يجعل الجنود فى حالة اضطراب وتشتت ، هذا بالإضافة إلى إمكانية تسديد نبضات الليزر ذات الطاقة العالية ، بحيث تدمر الدبابات والعجلات العسكرية ، ومن مميزات هذا السلاح الليزرى أن تشغيله غير مصطحب بصوت ولذلك يصبح من الصعب اكتشاف موقع المسدد ، ومن الطبيعى أن سلاحًا كهذا ، يجب أن يكون خفيفا ومعقولا بأبعاده الحجمية كى يحمل بسهولة .

وقد تم تطوير بعض أسلحة فى العجلات المدرعة لتوجيه المقذوفات الموجهة بالليزر وتسمى بالقنابل الذكية "Smart Bombs" . هذا بالإضافة إلى اهتمام القوات الجوية بالعديد من الدول المتقدمة وبصفة خاصة بتطوير أسلحة الليزر التكتيكية ، مما أدى إلى ابتكار أنواع عديدة من أسلحة الليزر تستخدم فى تدمير صواريخ جو - جو بسهولة تامة ، حيث يركب جهاز ليزر ذو طاقة عالية ( مثل ليزر ثانى أكسيد الكربون الذى يعمل فى مدى الأشعة تحت الحمراء ) داخل طائرات البوينج ٧٠٧ أو طائرات ب ٥٢ ، وتنطلق أشعة الليزر من فتحات خاصة وفى تماثل ، بحيث تغطى مساحة فضائية محددة ( وذلك باستخدام مركبات بصرية خاصة ) ، ويمكن لهذه الأشعة اختراق الصواريخ وتدميرها بالفعل الحرارى الذى يتولد عنها .

يضاف إلى ما سلف ذكره استعمال الليزر فى أجهزة التحكم فى ضبط الهوائيات لمرسلات ومستقبلات الموجات الخاصة



بالاتصالات السلكية واللاسلكية ، كما يؤدي الليزر خدمات أخرى في المجال العسكرى وهى فى محور الاتصالات والرادار ومنظومة الاحتراس .

وفى برامج الدفاع الخاصة بالحلف الأطلسى ، نشر فى السنوات الماضية عدد من البحوث الخاصة عن تطوير أسلحة الليزر التكتيكية ، ومنها الليزر الكيميائى الذى يعتمد فى تشغيله على الخلط بين غازى الهيدروجين والفلورين ويسمى هذا الجهاز ميراكل "MIRACL" وهو مشتق من المصطلح الإنجليزى : "Mid Infra Red Advanced Chemical Laser" ويستخدم هذا الجهاز فى حماية البواخر والمركبات الأخرى ضد أى هجوم بالطائرات أو بالصواريخ المضادة .

هذا بالإضافة إلى العديد من أنواع الليزر التى تعمل داخل الغواصات والتى تستخدم فى إصابة الطائرات والقاذفات المغيرة ، بغرض إحداث أكبر قدر من التلفيات للعدو خاصة فى المعدات باهظة التكاليف ، وهذا بالطبع يؤثر على سير المعارك .

ولعلنا استمعنا من إحدى وكالات الأنباء أثناء معركة تحرير الكويت خبراً عن استخدام هذه التقنية فى الحرب الدائرة عن طريق إرسال طائرات مزودة بمعدات الليزر المتقدمة والتى يمكن استخدامها

فى مساعدة الطائرات لتحديد أهدافها .

كل ذلك جعلنا نقول : إن حرب الخليج الثانية التى وصفت بأنها الحرب الكوكبية الأولى ، لاجتماع أغلبية البشر على هدف واحد وهو تحرير الكويت ، هى فى نفس الوقت الحرب الليزرية الأولى ، والتى استخدم فيها الليزر فى حسم نتائج المعركة ، ونرجو أن تكون الحرب الليزرية الأخيرة لتبقى استخدامات الليزر النافعة والمفيدة هى الأساس وهى استخدامات كثيرة .. كثيرة .



## المراجع

- ١ - أشعة الليزر والحياة المعاصرة  
تأليف د . محمد زكى عويس .  
الناشر : الهيئة المصرية العامة للكتاب عام ١٩٩٠ .
- ٢ - الجزء الأول من كتاب د استخدام الليزر فى التطبيقات الهندسية ،  
تأليف د . محمد زكى عويس .  
الناشر : وحدة تنسيق العلاقات الخارجية بأمانة المجلس الأعلى للجامعات عام ١٩٨٧ .
- ٣ - كتاب تطبيقات الليزر فى مصر ١٩٨٨  
إحدى مشاريع الترابط بوحدة تنسيق العلاقات الخارجية بأمانة المجلس الأعلى للجامعات المصرية ، الباحث الرئيسى ،  
د . محمد زكى عويس .
- ٤ - فيزياء ونظم وتكنولوجيا الليزر  
الناشر : معهد الدراسات العليا لحلف الأطلسى عام ١٩٨٢  
- تأليف :

W. J. Firtha and R. G. Harrison Heriot - Watt University,  
Edinburgh, Scotland .



٥ - الليزرات

Anthony Siegman, Oxford University Press : تأليف  
1986 .

٦ - الألياف البصرية

Christian Hentschel, Hewlett - Packard GmbH, : تأليف  
Germany 1988 .

٧ - موسوعة الليزرات والتكنولوجيا البصرية

Robert A. Meyers, Academic Press, Inc. 1991 .

# الفهرست

الموضوع	الصفحة
مقدمة	٥
الفصل الأول :	
أشعة الليزر وخصائصها المميزة	١٣
الفصل الثاني :	
أشعة الليزر ومعجزاتها العلمية	٢٧
الفصل الثالث :	
تطبيقات أشعة الليزر في مجال الطاقة	٤٧
الفصل الرابع :	
أشعة الليزر وتكنولوجيا الاتصالات	٦١
الفصل الخامس :	
أشعة الليزر والتصوير المجسم	٨٧
الفصل السادس :	
الحرب الليزرية الأولى	١٠١

## المؤلف فى سطور

- يشغل حاليا وظيفة أستاذ مساعد بقسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة القاهرة .
- حاصل على درجة البكالوريوس فى الفيزياء عام ١٩٧٣ م من كلية العلوم - جامعة القاهرة .
- حاصل على درجة الماجستير فى الفيزياء عام ١٩٧٨ م من كلية العلوم - جامعة القاهرة .
- حاصل على درجة الدكتوراة فى أطراف الليزر عام ١٩٨١ من جامعة أمستردام الحرة - بهولندا .
- حاصل على درجة الدكتوراة فى فلسفة فى أطراف الليزر عام ١٩٨٥ م من جامعة أمستردام الحرة - بهولندا .
- حاصل على دورات تدريبية فى كل من الفيزياء الفلكية عام ١٩٧٨ بمعهد الأرصاد - بمدينة ترستا بإيطاليا وأيضا تكنولوجيا الليزر عام ١٩٨٢ ، بمعهد الدراسات العليا لحلف شمال الأطلسي ( الناتو ) - بمدينة أدنبره - اسكتلندا .

- اشترك فى العديد من المهمات العلمية والمؤتمرات الدولية عن استخدام تكنولوجيا الليزر .

- أنشأ معمل أطياف الليزر بقسم الفيزياء - كلية العلوم ، جامعة القاهرة عام ١٩٨٦ بالتعاون مع وزارة التعليم العالى والبحوث الهولندية وجامعة أمستردام بهولندا .

- له العديد من المؤلفات فى مجال أطياف الليزر فى المجلات العالمية .

- عضو الجمعيات العلمية المصرية الفيزيائية الرياضية وفيزياء الجوامد ، كذلك عضو الجمعية العلمية للمجموعة الأوروبية للأطياف الذرية .

- حاليا معارز أستاذ مشارك بجامعة أم القرى بالمملكة العربية السعودية .





# اقرأ

سلسلة ثقافية شهرية تصدرها دار المعارف منذ عام ١٩٤٣ ، مساهمة منها في نشر الثقافة والعلوم والمعرفة بين قراء العربية صدر منها حتى الآن أكثر من ستمائة عدد لكبار الكتاب منها :

- |                       |                                      |
|-----------------------|--------------------------------------|
| ■ قاهريات مملوكية     | ■ منهج الشيخ الشعراوي لإصلاح المجتمع |
| أ . جمال الغيطاني     | أ . إبراهيم عبد العزيز               |
| ■ إلى صاعدة           | ■ يوميات امرأة عاملة                 |
| أ . حلمي سلام         | أ . إقبال بركة                       |
| ■ صور من قريب         | ■ طغاة التاريخ                       |
| أ . حسن فؤاد          | أ . محمود متولى                      |
| ■ الوراثة والجنس      | ■ ماذا نأكل ولماذا ؟                 |
| د . عبد الحلیم متصر   | د . ممتاز الجندي                     |
| ■ جميل بثينة          | ■ الشباب المسلم وقضايا المعاصرة      |
| أ . عباس محمود العقاد | د . عبد الله شحاتة                   |
| ■ صوت أبي العلاء      | ■ القصة في القرآن الكريم             |
| د . طه حسين           | د . محمد سيد طنطاوي                  |
| ■ العشاق الثلاثة      | ■ ثم غربت الشمس                      |
| د . زكي مبارك         | د . سهير القلماوي                    |
| ■ الهرمونات           | ■ قصة العقاقير                       |
| د . محمد رشاد الطوبى  | د . محمود محمد سلامة                 |

المبصر .. فضاؤنا الداخلي

أ . رجب سعد السيد

العدد  
القادم

رقم الإيداع	١٩٩٦/٤٠٤٥
الترقيم الدولي	ISBN 977-02-5248-4

١ / ٩٦ / ٥

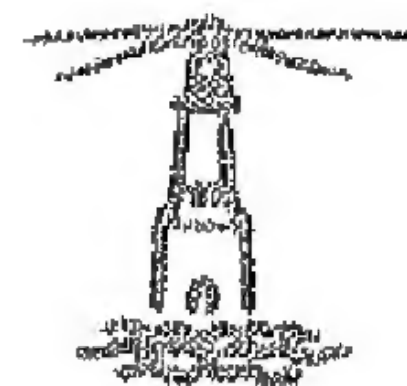
طبع بمطابع دار المعارف (ج.م.ع.)





لم يعد الرهان على القوة الاقتصادية .  
لكن الرهان الآن أصبح على من يسبق  
من في امتلاك التكنولوجيا ، في سبيل  
ذلك قد تنشأ الصراعات القادمة ! سواء  
فيما بين دول العالم الأول ، أو بين العالم  
الأول كله في مواجهة العالم الثاني  
والثالث !!

الكاتب يدق أجراس الخطر من  
خلال ما يمكن أن تمثله تكنولوجيا  
الليزر في الحرب وفي السلام .  
منبها إلى ضرورة إنشاء « مركز  
عربي لتكنولوجيا الليزر » .  
ومحذرا من خطورة النقص عن  
امتلاك هذه التكنولوجيا .



دارالمعارف

٤٨٨٠٠

